



Università degli Studi di Bergamo

SCUOLA DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Laboratorio di Elettronica

Relazione esperienza di Laboratorio 5

Prof.
Luigi Gaioni

Candidati
Davide Salvetti
Matricola 1057596

Marco Rodolfi
Matricola 1040347

Matteo Verzeroli
Matricola 1057926

Laboratorio 5

Il primo circuito realizzato in questa esperienza di laboratorio permette di effettuare lo *switch debouncing* utilizzando l'integrato **LM555**. Nella figura 1.1 è riportato lo schema del circuito.

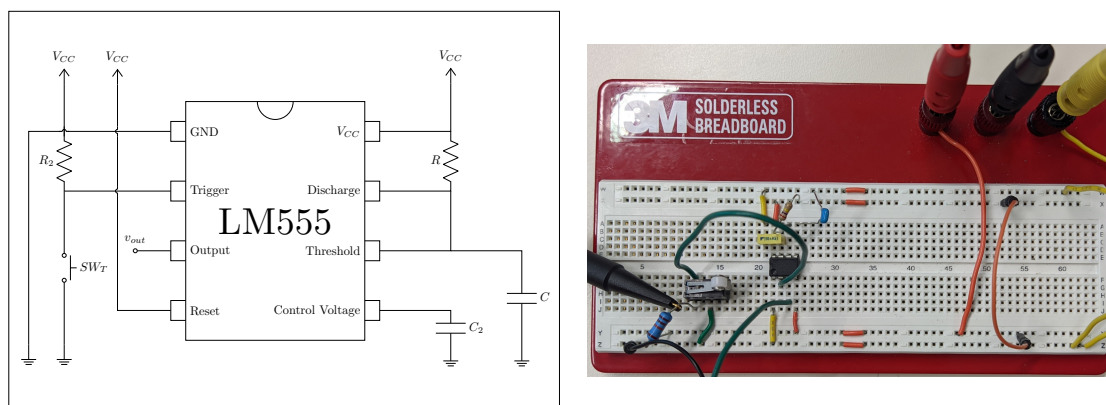


Figura 1.1: Schema circuitale e foto del circuito realizzato.

In questo circuito il Timer 555 è utilizzato in configurazione monostabile. A differenza del circuito realizzato nella relazione precedente, il segnale di trigger viene generato non più tramite il generatore di forme d'onda ma tramite un pulsante meccanico normalmente aperto, indicato nello schema circuitale con il nome di SW_T . Esso ha un terminale connesso alla resistenza R_2 di pull-up verso V_{CC} mentre l'altro terminale è connesso a massa. Di conseguenza, quando l'interruttore è aperto sul nodo di *Trigger* viene mantenuta una tensione pari a V_{CC} grazie alla resistenza R_2 . Al contrario, quando l'interruttore viene chiuso il morsetto di *Trigger* viene collegato a massa. Tuttavia, la risposta reale di un pulsante meccanico durante l'apertura e la chiusura è influenzata dalla propria risposta meccanica che è caratterizzata dal fenomeno del rimbalzo (*switch bouncing*). A causa di questo effetto, si possono notare degli impulsi di apertura-chiusura quando viene premuto o rilasciato il pulsante (Fig.1.2). Questo comportamento anomalo potrebbe presentare un problema quando è inserito, per esempio, in un circuito digitale che conta quante volte è stato premuto il pulsante: il circuito contatore conterà anche le oscillazioni causate dal rimbalzo. Per superare questo problema è possibile sfruttare il **LM555** in modalità monostabile che, a seguito di un impulso negativo sul *Trigger*, genera un impulso in uscita con durata pari a $T = 1.1RC$. Il circuito realizzato, quindi, può essere utilizzato per ottenere un singolo impulso in uscita a seguito della pressione del pulsante collegato al morsetto di *Trigger*. Nella figura 1.3 viene confrontato l'andamento della tensione al morsetto di *Trigger* e la tensione in uscita al Timer 555. I valori dei componenti passivi utilizzati per questa misura sono indicati nella tabella 1.1. Alla pressione del tasto si osserva quindi un impulso di durata 93.6 ms non affetto da *switch bouncing*. Il valore teorico della durata dell'impulso è di 98.01 ms, simile al valore misurato.

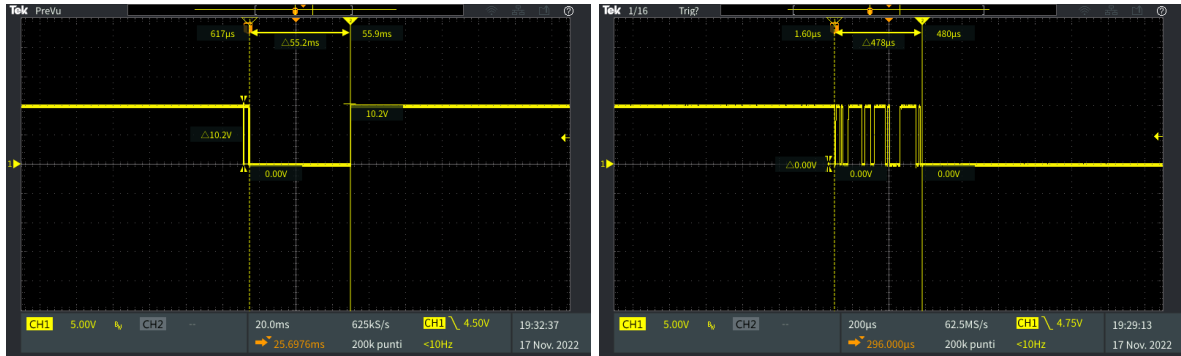


Figura 1.2: Effetto rimbalzo durante l'apertura e la chiusura di un pulsante meccanico. A sinistra è possibile vedere il segnale ai morsetti del pulsante quando viene premuto per circa 55.2ms. A destra un dettaglio sul segnale alla pressione del pulsante in cui l'effetto del rimbalzo dura circa 478 μs.

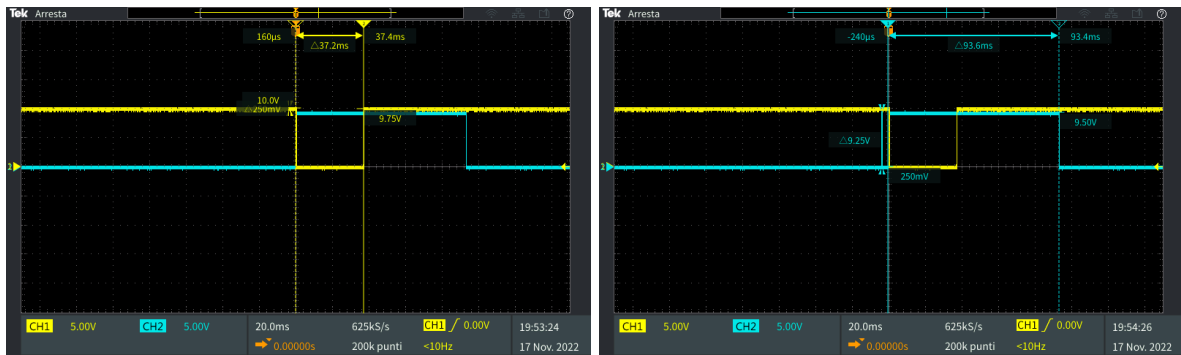


Figura 1.3: Tensione in uscita al LM555 (linea azzurra) in configurazione monostabile e tensione al morsetto di trigger (linea gialla).

Componente	Valore Nominale	Valore Misurato
R_2	12 k Ω	10.96 k Ω
R	270 k Ω	265.8 k Ω
C	330 nF	Non misurato

Tabella 1.1: Valori nominali e misurati dei componenti utilizzati nel circuito.

Il secondo circuito realizzato utilizza un **LM555** in modalità bistabile (Fig.1.4) e permette di generare un impulso rettangolare in uscita di durata controllabile tramite la pressione di due pulsanti: un pulsante di trigger (SW_T) e uno di reset (SW_R).

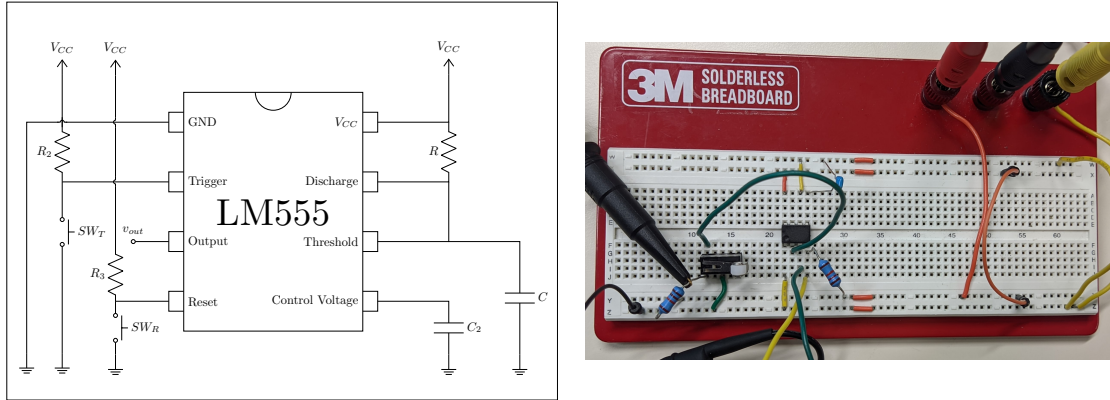


Figura 1.4: Schema circuitale e foto del circuito realizzato.

La configurazione bistabile permette di ottenere in uscita un impulso rettangolare che viene generato a seguito di un impulso di trigger e termina quando sul morsetto di *Reset* viene applicato un impulso. Infatti, il pin di *Reset* è collegato internamente al pin di reset generale del *flip-flop SR*, che porta l'uscita a zero qualsiasi siano i valori dei pin di set e reset. Il circuito rimane stabile in uno dei due stati fino a quando il pulsante di reset o di trigger viene premuto. In realtà, nel circuito realizzato in laboratorio non sono stati utilizzati due pulsanti ma uno solo per la generazione del segnale di trigger; il pulsante di reset, invece, è stato realizzato con un filo collegato a massa che simula la chiusura dell'interruttore. I valori dei componenti sono indicati nella tabella 1.2.

Componente	Valore Nominale	Valore Misurato
R	270 k Ω	265.8 k Ω
R2	12 k Ω	10.96 k Ω
R3	12 k Ω	12.00 k Ω
C	330 nF	Non misurato
C2	150 nF	Non misurato

Tabella 1.2: Valori nominali e misurati dei componenti utilizzati nel circuito.

Nella figura 1.5 viene rappresentata la fase di reset dell'uscita: dopo aver premuto il pulsante di trigger, l'uscita si porta a livello logico alto pari a 10 V (linea azzurra). Successivamente, quando il pulsante di reset SW_R viene premuto (o collegando il pin di reset a massa) viene generato un impulso negativo sul pin di reset (linea gialla). Dopo un tempo di ritardo pari a 43 ms l'uscita si riporta a livello logico basso (0 V).

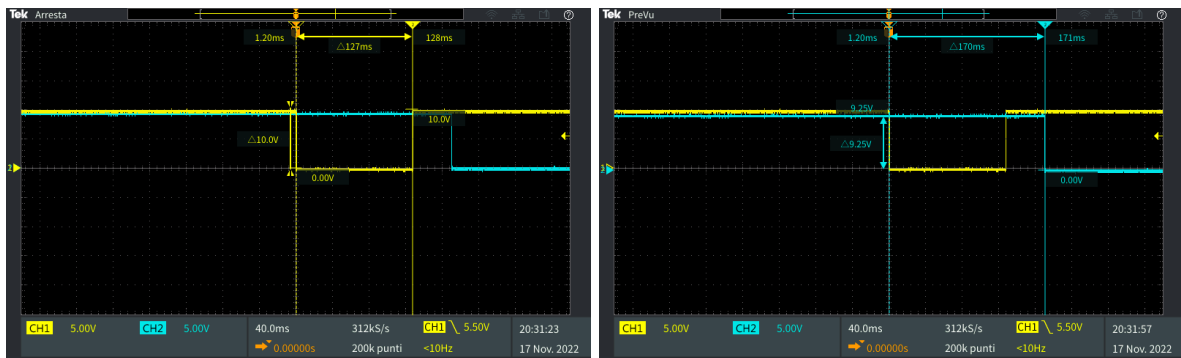


Figura 1.5: Reset del segnale in uscita al LM555 (linea azzurra) in configurazione bistabile a seguito di un impulso (linea gialla) sul pin di reset.

Il terzo circuito realizzato utilizza il Timer 555 per realizzare un oscillatore che permette di generare in uscita un'onda quadra periodica con un periodo definito dai valori dei componenti passivi utilizzati nel circuito.

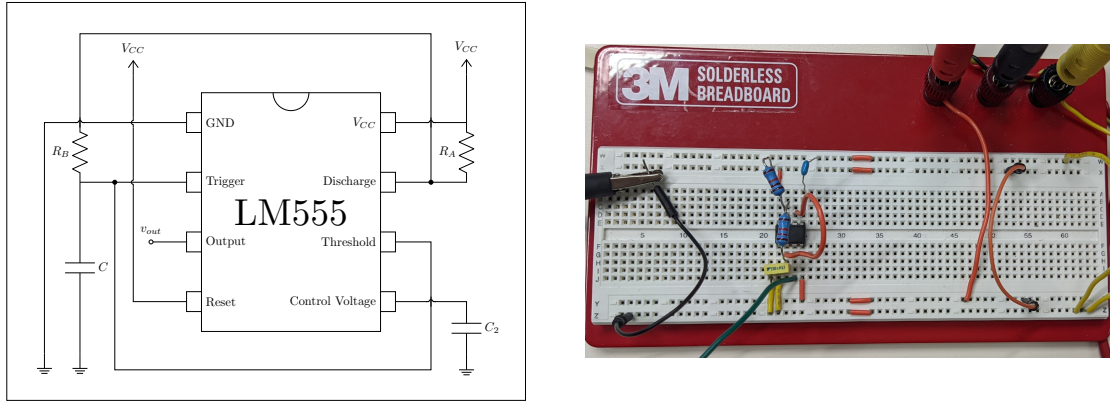


Figura 1.6: Schema circuitale e foto del circuito realizzato.

I valori nominali e misurati dei componenti passivi utilizzati sono riportati in tabella 1.3.

Componente	Valore Nominale	Valore Misurato
$R_{A_{12k}}$	12 k Ω	10.96 k Ω
$R_{A_{18k}}$	18 k Ω	18.02 k Ω
$R_{A_{23k}}$	23 k Ω	23.90 k Ω
$R_{A_{39k}}$	39 k Ω	38.65 k Ω
$R_{A_{50k}}$	56 k Ω	55.10 k Ω
$R_{A_{66k}}$	66 k Ω	66.87 k Ω
$R_{A_{82k}}$	82 k Ω	82.26 k Ω
R_B	12 k Ω	12.00 k Ω
C	330 nF	Non misurato
C_2	150 nF	Non misurato

Tabella 1.3: Valori nominali e misurati dei componenti utilizzati nel circuito.

Una volta fornita alimentazione al circuito, il condensatore C inizia a caricarsi attraverso le resistenze R_A e R_B . Quando la tensione al nodo v_c è pari a $\frac{2}{3}V_{CC}$, il *flip-flop* all'interno del **LM555** viene resettato e la sua uscita si porta a livello logico basso, accendendo il transistor MOSFET di scarica. Di conseguenza, la capacità si scarica verso massa tramite la resistenza R_B fino a quando la tensione al nodo v_c si porta al valore $\frac{V_{CC}}{3}$. A questo punto, il *flip-flop* viene settato e l'uscita si porta a livello logico alto, spegnendo il transistor di scarica: il ciclo di carica inizia di nuovo. Il duty-cycle del segnale generato in uscita dipende dal tempo di carica e scarica della capacità C . Considerando il condensatore

inizialmente carico a $\frac{V_{CC}}{3}$, l'andamento della tensione v_C nella fase di carica è pari a:

$$v_C = V_{CC} + \left(\frac{V_{CC}}{3} - V_{CC} \right) e^{\frac{-t}{(R_A + R_B)C}}$$

quando $v_C = \frac{2}{3}V_{CC}$:

$$\frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} + \left(\frac{V_{CC}}{3} - V_{CC} \right) e^{\frac{-T_1}{(R_A + R_B)C}},$$

da cui si ricava il tempo di carica T_1 :

$$T_1 = (R_A + R_B)C \ln 2. \quad (1.2)$$

In modo analogo, è possibile ricavare il tempo di scarica attraverso la resistenza R_B , considerando la capacità carica a $\frac{2}{3}V_{CC}$:

$$v_C = \frac{2}{3}V_{CC}e^{\frac{-t}{R_B C}}$$

quando $v_C = \frac{V_{CC}}{3}$:

$$\frac{V_{CC}}{3} = \frac{2}{3}V_{CC}e^{\frac{-T_2}{R_B C}},$$

da cui si ricava che il tempo di scarica T_2 è pari a

$$T_2 = R_B C \ln 2. \quad (1.4)$$

Il duty-cycle dell'onda quadra generata è quindi pari a

$$\delta = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{(R_A + R_B)C \ln 2}{(R_A + 2R_B)C \ln 2} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}. \quad (1.5)$$

Per cui, il valore del duty-cycle è compreso tra il 50 % (se $R_A \ll R_B$) e il 100 % (se $R_A \gg R_B$). Nella figura 1.7 si riporta un esempio di misure acquisite tramite l'oscilloscopio. In questo caso, i valori dei componenti passivi utilizzati sono indicati nella tabella 1.4.

Dalla equazione 1.5 si può ricavare che il valore teorico del duty-cycle con i valori indicati è pari a

$$\delta = \frac{55.10 \text{ k}\Omega + 12.00 \text{ k}\Omega}{55.10 \text{ k}\Omega + 2 \times 12.00 \text{ k}\Omega} = 84.83 \%, \quad (1.6)$$

mentre il valore misurato tramite i cursori dell'oscilloscopio è pari a 84.75 %, molto simile a quello teorico.

Successivamente, si sono effettuate misure del duty-cycle e della frequenza del segnale ottenuto variando il valore delle resistenze R_A (R_B mantenuta costante con valore di 12 k Ω) e della capacità C . In figura 1.8 si possono osservare i risultati ottenuti. In particolare, in accordo con le equazioni descritte in precedenza, è possibile notare che:

- la frequenza diminuisce con l'aumentare della resistenza R_A ed aumenta al diminuire del valore della capacità C ;
- il duty-cycle aumenta all'aumentare della resistenza R_A .

Componente	Valore Nominale	Valore Misurato
R_A	56 k Ω	55.10 k Ω
R_B	12 k Ω	12.00 k Ω
C	330 nF	Non misurato

Tabella 1.4: Valori nominali e misurati dei componenti utilizzati nel circuito.

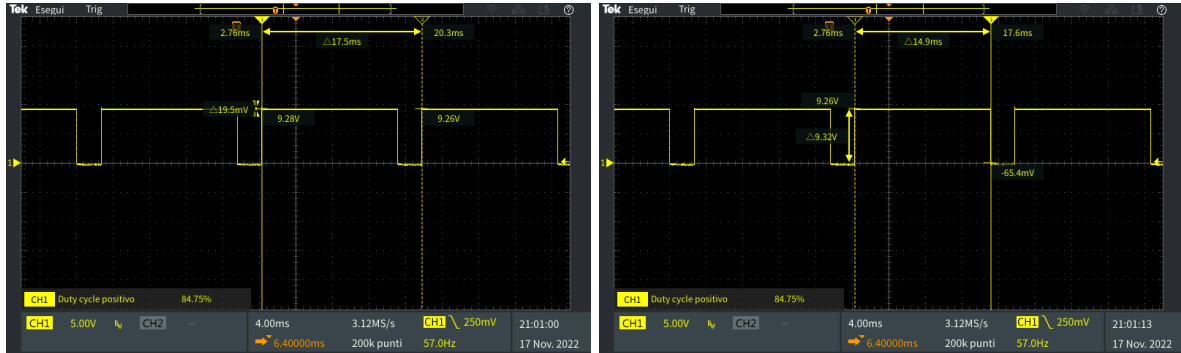


Figura 1.7: Segnale di uscita al circuito astabile realizzato con l'integrato **LM555**.

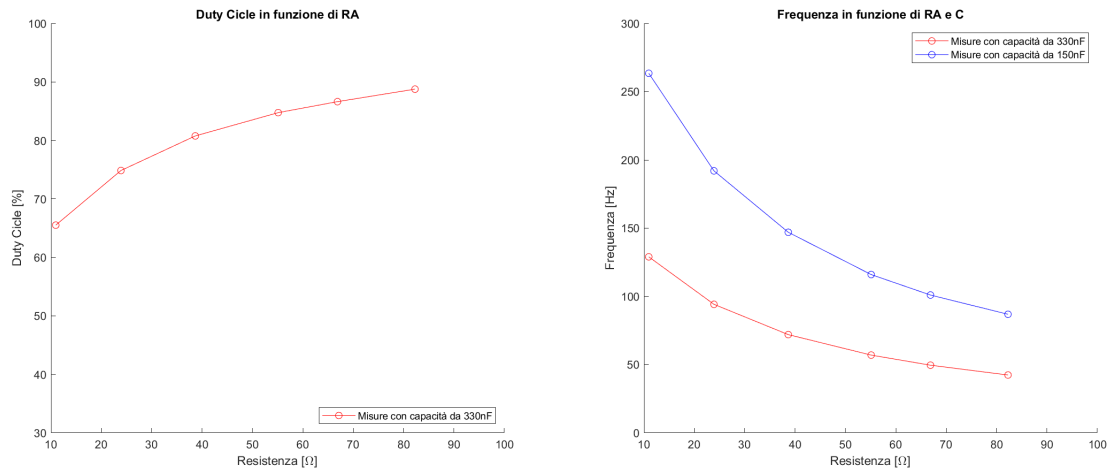


Figura 1.8: Misure del duty-cycle e della frequenza del segnale in uscita dal circuito in funzione della resistenza R_A e della capacità C .

Il quarto circuito realizzato (Fig.1.9) permette di superare i limiti sui possibili valori del duty-cycle dell'onda quadra in uscita presenti nel circuito precedente.

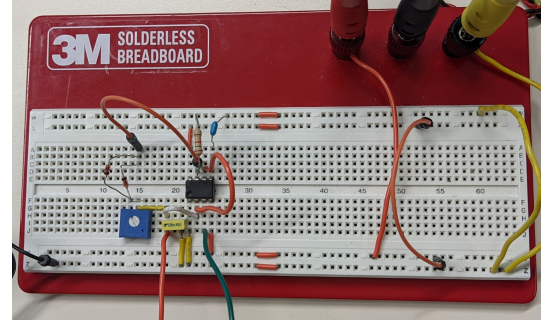
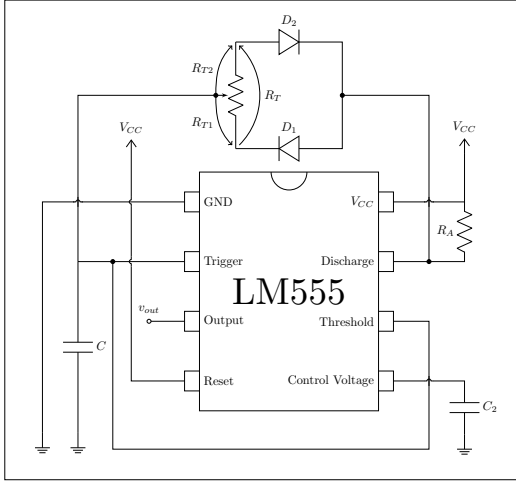


Figura 1.9: Schema circuitale e foto del circuito realizzato.

Per ottenere un duty-cycle selezionabile nell'intervallo dallo 0 % al 100 %, si introducono i diodi $D1$ e $D2$ ed il trimmer T (Fig.1.10).

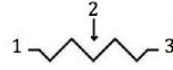


Figura 1.10: Simbolo circuitale di un trimmer.

Il trimmer viene utilizzato come resistenza variabile e permette di disaccoppiare il valore della resistenza attraverso la quale la capacità C si carica e scarica. Infatti, la corrente che carica il condensatore fluisce attraverso la resistenza R_A , il diodo $D1$ e la resistenza R_{T1} , ossia la resistenza tra il terminale 1 e 2 del trimmer. Al contrario, la capacità di scarica solo attraverso la resistenza R_{T2} , ossia la resistenza tra il terminale 2 e 3 del trimmer. Le equazioni che descrivono il tempo di carica e scarica delle capacità diventano quindi:

$$\begin{aligned} T_1 &= \ln 2 C (R_A + R_{T1}) \text{ (carica)}, \\ T_2 &= \ln 2 C (R_{T2}) \text{ (scarica)}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Indicando con R_T la resistenza tra il terminale 1 e 3 del trimmer (che equivale alla somma delle resistenze R_{T1} e R_{T2}) otteniamo:

$$\begin{aligned} T_2 &= \ln 2 C (R_T - R_{T1}) \\ T &= T_1 + T_2 = \ln 2 C (R_A + \cancel{R_{T1}} + R_T - \cancel{R_{T1}}) \\ T &= \ln 2 C (R_A + R_T) \\ \frac{T_1}{T} &= \frac{\ln 2 C (R_A + R_{T1})}{\ln 2 C (R_A + R_T)} \\ \delta &= \frac{R_A + R_{T1}}{R_A + R_T} \end{aligned} \quad (1.8)$$

I valori nominali ed effettivi dei componenti utilizzati sono riportati in tabella 1.5 mentre in figura 1.11 sono riportate delle acquisizioni eseguite con il trimmer completamente ruotato in senso orario, antiorario ed in posizione centrale.

Componente	Valore Nominale	Valore Misurato
R_A	1.5 k Ω	1.49 k Ω
R_T	10 k Ω	10.40 k Ω
C	330 nF	Non misurato

Tabella 1.5: Valori nominali e misurati dei componenti utilizzati nel circuito.

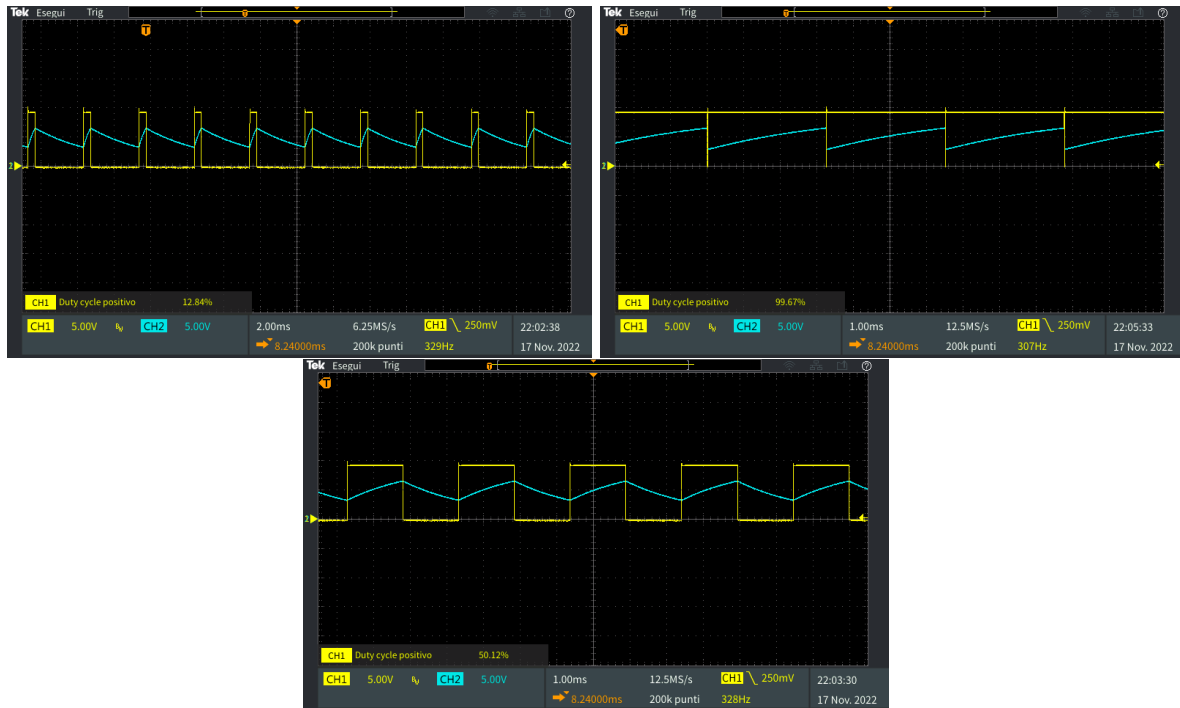


Figura 1.11: Tensione ai capi del condensatore (linea azzurra) e tensione in uscita dall'integrato (linea gialla), al variare del valore del trimmer. In alto a sinistra il trimmer è completamente ruotato in senso orario. In alto a destra, invece, è completamente ruotato in senso anti orario. In basso è posizionato circa a metà.

Esercizio per casa L'obiettivo del seguente circuito è quello di notificare l'utente del superamento di una temperatura di soglia in un ambiente tramite il lampeggio di un led. Per fare ciò, viene utilizzata una resistenza NTC, il cui valore di resistenza diminuisce con l'aumentare della temperatura. Per verificare il superamento di una tensione di soglia viene utilizzato un comparatore. Invece, per il lampeggio del led viene utilizzato il Timer 555 in modalità astabile. In figura 1.12 viene riportato lo schematico del circuito progettato.

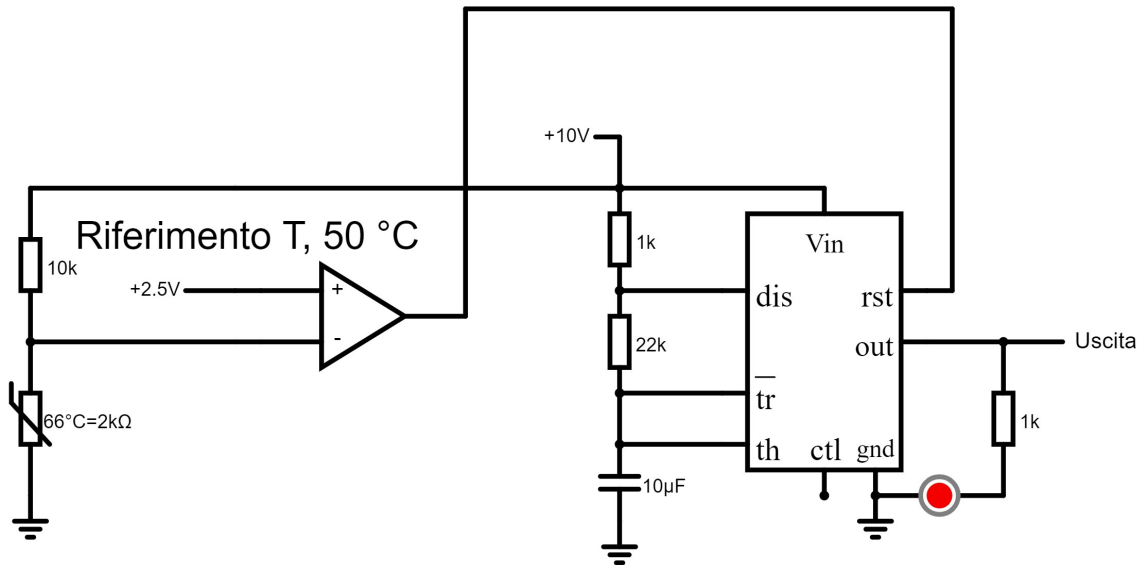


Figura 1.12: Schema del circuito progettato.

Il principio di funzionamento per il lampeggio del led è lo stesso riportato nel terzo circuito analizzato precedentemente dove il Timer 555 è stato utilizzato in modalità astabile. In particolare, il led viene collegato, tramite una resistenza, tra l'uscita dell'integrato e massa; è possibile modificare il duty-cycle e la frequenza di oscillazione modificando il valore del condensatore e delle resistenze collegate ai pin di *dis* e *tr*.

Il comparatore è invece utilizzato per determinare quando la temperatura supera un valore di riferimento. La resistenza NTC è inserita all'interno di un partitore resistivo, tra l'alimentazione positiva del circuito e massa, con una resistenza di 10 kΩ. Il morsetto invertente del comparatore è collegato a un capo della resistenza NTC. Invece, il morsetto non invertente del comparatore è mantenuto a una tensione fissa che rappresenta il valore soglia della tensione che corrisponde alla temperatura di riferimento al superamento della quale il led deve accendersi. Questa tensione di riferimento può essere ottenuta tramite un partitore resistivo e potrebbe essere impostata tramite l'utilizzo di una resistenza variabile (trimmer) che permette di regolare la temperatura soglia. Quando la tensione ai capi dell'NTC supera la tensione di riferimento, l'uscita del comparatore si porta a massa, disattivando il reset del Timer 555. In questo modo, il *flip-flop* integrato nel chip è libero di commutare l'uscita.

La frequenza di oscillazione del led può essere calcolata a partire dalle equazioni 1.21.4:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2}. \quad (1.9)$$

Con i valori riportati in figura 1.12 la frequenza di oscillazione è pari a 3.2 Hz mentre il duty cycle è pari al 51 % (Eq. 1.5).