

Studio del funzionamento ON OFF di un BJT

Con la realizzazione di questo semplice circuito ci si propone di osservare il funzionamento di un transistor BJT ON OFF. Prima della realizzazione si esegue una simulazione del funzionamento con Multisim.

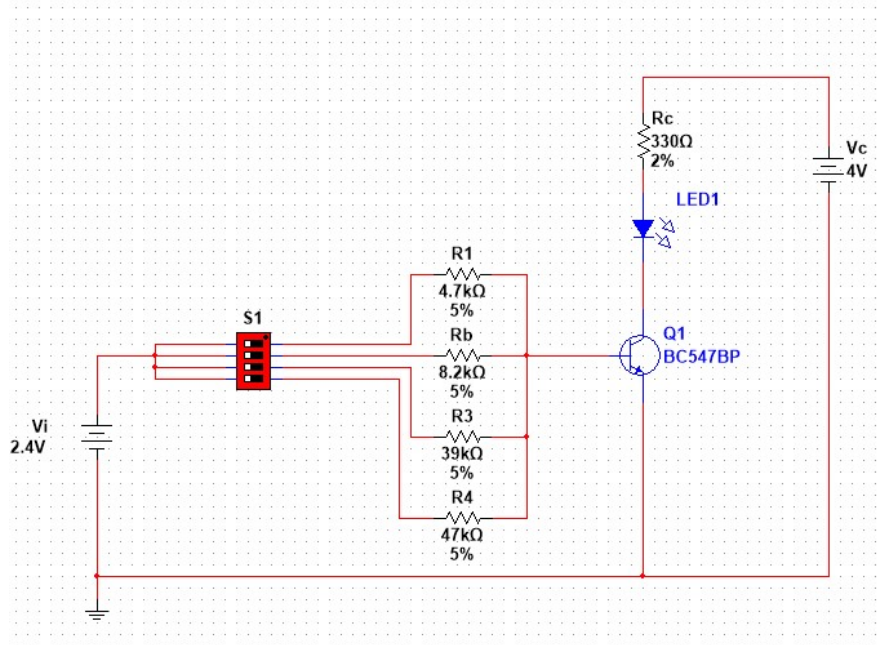


Figura 1 Schema elettrico.

Nello schema sono indicati i valori delle tolleranze delle resistenze, le caratteristiche del transistor e del diodo LED. Durante l'inserimento dei componenti controllare che i valori (soprattutto quelli evidenziati in figura) corrispondano con quelli indicati nel datasheet del componente scelto.

Parameter	Value
Date:	April 06, 1998
Function:	
Vceo:	45
Vcbo:	50
Ic(max):	0.1
hFE(min):	200
hFE(max):	450
Ft:	150
Pd:	1.5
Package:	TO-92
Thermal resistance junction:	200.00
Thermal resistance case:	83.30
Power dissipation:	1.50
Derating Knee Point:	25.00
Min Operating Temp:	-55.00
Max Operating Temp:	150.00
ESD:	0.00

Figura 2 Caratteristiche del transistor.

Controllo che i valori del guadagno statico corrispondano a quelli dichiarati nel datasheet:

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110	800
V_{CE} (sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$	90	250
		$I_C=100mA, I_B=5mA$	200	600
V_{BE} (sat)	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$	700	
		$I_C=100mA, I_B=5mA$	900	
				mV
				mV

Figura 3 Dati dal datasheet.

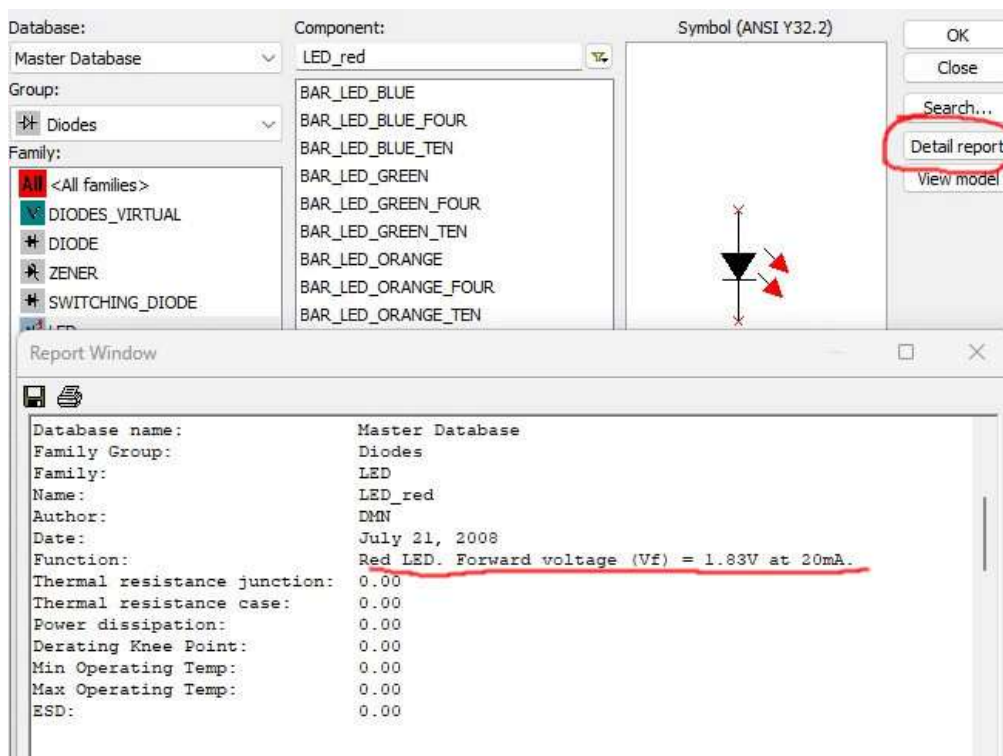


Figura 4 Caratteristiche del LED rosso.

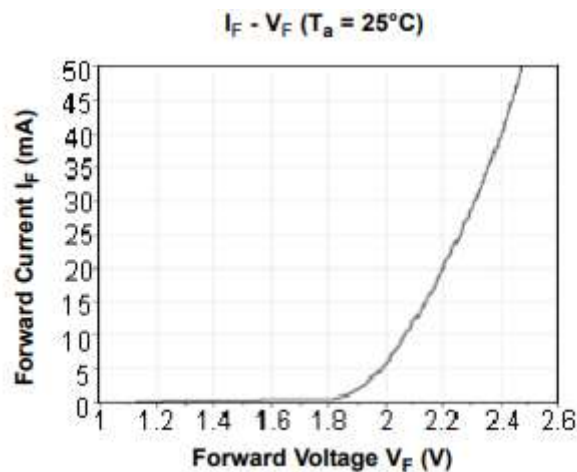


Figura 5 Grafico dal datasheet.

Per vedere le caratteristiche fare click sul tasto “Detail report” evidenziato.

La tensione di alimentazione V_i è di 2,4V perché, generalmente, il transistor si usa in modalità ON OFF nei circuiti digitali e questo è il valore minimo di tensione per cui il livello è considerato alto. È stato inserito un Dip Switch che permette la commutazione di quattro resistori di base per studiare il comportamento del circuito con diversi valori di resistenza. Il generatore da 4V collegato alla serie resistore di collettore LED permette la corretta polarizzazione del transistor.

A questo punto si procede con il calcolo del valore della resistenza di base. Il suo valore deve essere scelto in modo che il transistor lavori in saturazione. Si ricorda che in questo modo di funzionamento il transistor (in configurazione ad emettitore comune come riportato nello schema) non è più in grado di amplificare la corrente di base.

Per scegliere il valore della resistenza di base si usano le seguenti relazioni:

$$I_C < h_{FE} I_B$$

Dove h_{FE} è il guadagno statico del BJT riportato sul datasheet (figura 3). Si deve determinare la corrente di collettore I_C . Considerando la maglia di uscita del circuito di figura 1, per il secondo principio di Kirchhoff, si ricava:

$$V_C = V_{R_C} + V_L + V_{CEsat}$$

Dove V_L è la caduta di tensione ai capi del LED rosso che si può assumere pari a 1,83V come indicato dalle caratteristiche del componente scelto per la simulazione e come si deduce dal grafico del datasheet del LED (figura 5). Per quanto riguarda il valore della tensione tra collettore ed emettitore quando il BJT lavora in saturazione si può scegliere il valore 90mV (si veda la figura 3). Sostituendo questi valori si ricava il valore della caduta di tensione ai capi del resistore RC (per cui si è scelto il valore 330Ω):

$$V_{R_C} = V_C - V_L - V_{CEsat} = (4 - 1,83 - 0,09)V = 1,27V$$

Ora si può determinare il valore della corrente di collettore in queste condizioni di lavoro:

$$I_C = \frac{V_{R_C}}{R_C} = \frac{1,27}{330} A = 3,84mA$$

Affinché il BJT sia in saturazione deve essere:

$$I_C < h_{FE} I_B \rightarrow I_B > \frac{I_C}{h_{FE}}$$

Per il calcolo si sceglie $h_{FE} = 110$ cioè il valore minimo per assicurare la saturazione del transistor. Qualora, infatti, risultasse maggiore, la relazione $I_C < h_{FE} I_B$ risulterebbe comunque verificata.

$$I_B > \frac{3,84 \cdot 10^{-3}}{110} A = 3,49 \cdot 10^{-5} A = 34,9\mu A$$

Ora si calcola il valore della caduta di tensione ai capi del resistore di base applicando il secondo principio di Kirchhoff alla maglia di ingresso:

$$V_i = V_{R_B} + V_{BEsat}$$

Dai dati di figura 3 si legge $700mV < V_{BEsat} < 900mV$ la scelta del valore $800mV$ è ragionevole.

$$V_{R_B} = V_i - V_{BEsat} = (2,4 - 0,8)V = 1,6V$$

Finalmente è possibile determinare il valore massimo della resistenza di base:

$$R_B \leq \frac{V_{R_B}}{I_B} = \frac{1,6}{3,49 \cdot 10^{-5}} \Omega = 45845\Omega \cong 46k\Omega$$

Si procede, quindi con la simulazione inserendo nello schema due amperometri e due voltmetri come segue:

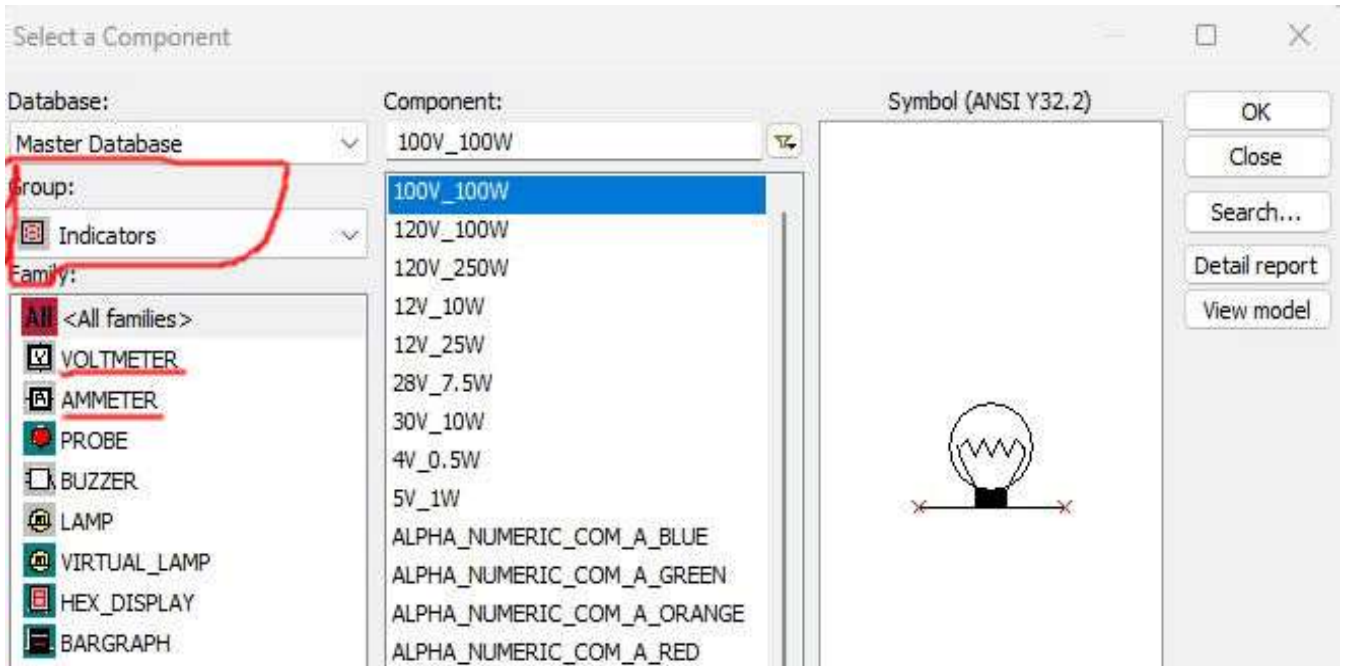


Figura 6 Inserimento strumenti di misura.

Si vogliono misurare le correnti di base e di collettore e le tensioni V_{BE} e V_{CE} , quindi si inseriscono due amperometri e due voltmetri.

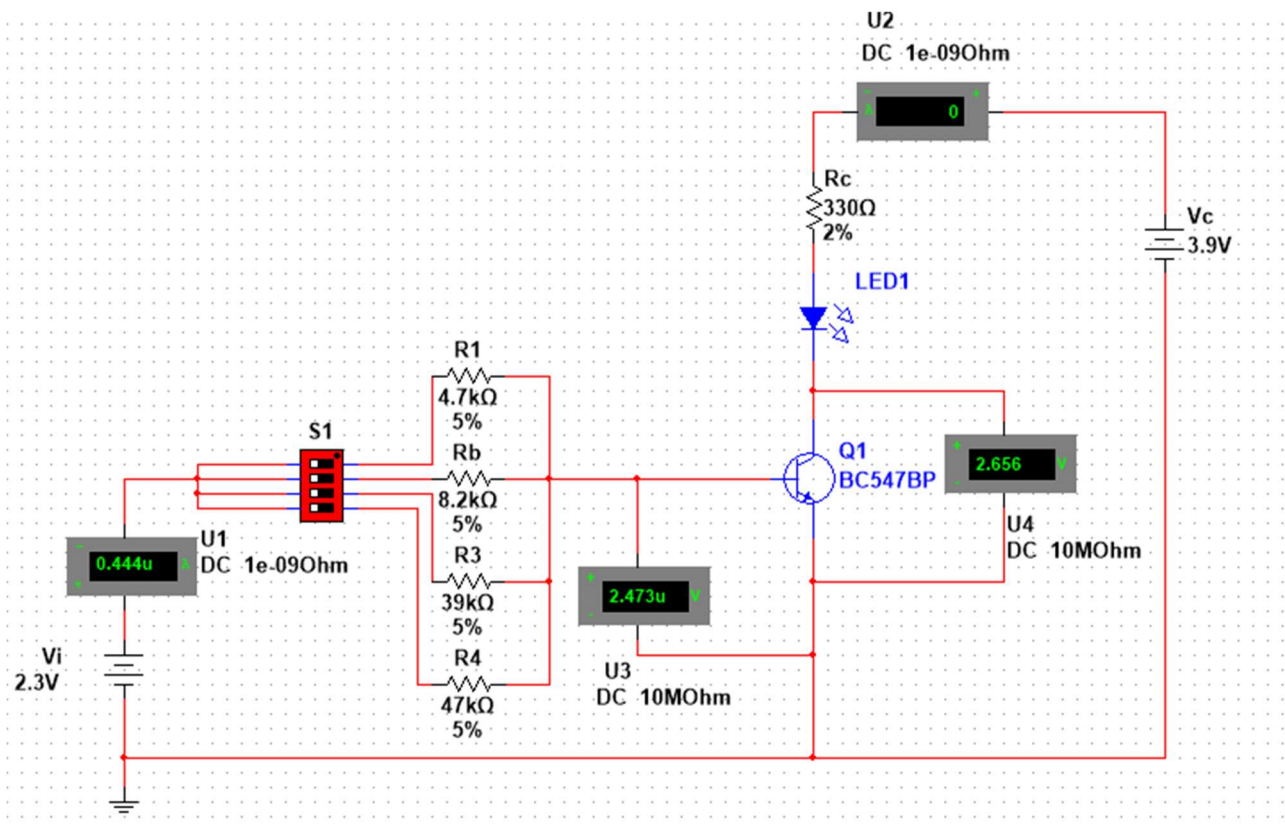


Figura 7 Simulazione con tutti gli interruttori aperti.

Si riportano in una tabella i valori rilevati durante la simulazione che, successivamente, saranno confrontati con quelli misurati sul circuito realizzato su breadboard.

Valori rilevati in simulazione con $V_i=2.3V$ e $V_c=3.9V$				
R_B	I_B	V_{BE}	I_C	V_{CE}
∞	444nA	2.473 μ V	0A	2.656V
4.7k Ω	339 μ A	707mV	6.38mA	27mV
8.2k Ω	195 μ A	701mV	6.35mA	38mV
39k Ω	41 μ A	691mV	6.18mA	94mV
47k Ω	34 μ A	691mV	6.14mA	107mV

Con tutti e quattro gli interruttori aperti il BJT è interdetto e il LED resta spento. In tutti gli altri casi il BJT risulta saturo ed il LED si accende in accordo con i calcoli teorici da cui risulta che la resistenza di base deve essere minore di circa 46k Ω .

Valori misurati con $V_i=2.3V$ e $V_c=3.9V$			
Dip Switch	R_B	V_{BE}	V_{CE}
OFF OFF OFF OFF	∞	420mV	2.52V
ON OFF OFF OFF	4.7k Ω	686mV	43mV
OFF ON OFF OFF	8.2k Ω	678mV	56mV
OFF OFF ON OFF	39k Ω	666mV	114mV
OFF OFF OFF ON	47k Ω	664mV	122mV
ON ON OFF OFF	2.9k Ω	694mV	35mV
ON OFF ON OFF	4.1k Ω	688mV	41mV
ON OFF OFF ON	4.2k Ω	688mV	42mV
OFF ON ON OFF	6.7k Ω	681mV	51mV
OFF ON OFF ON	6.9 k Ω	681mV	53mV
OFF OFF ON ON	21.3k Ω	671mV	84mV

I valori misurati non si discostano significativamente da quelli ottenuti con la simulazione.

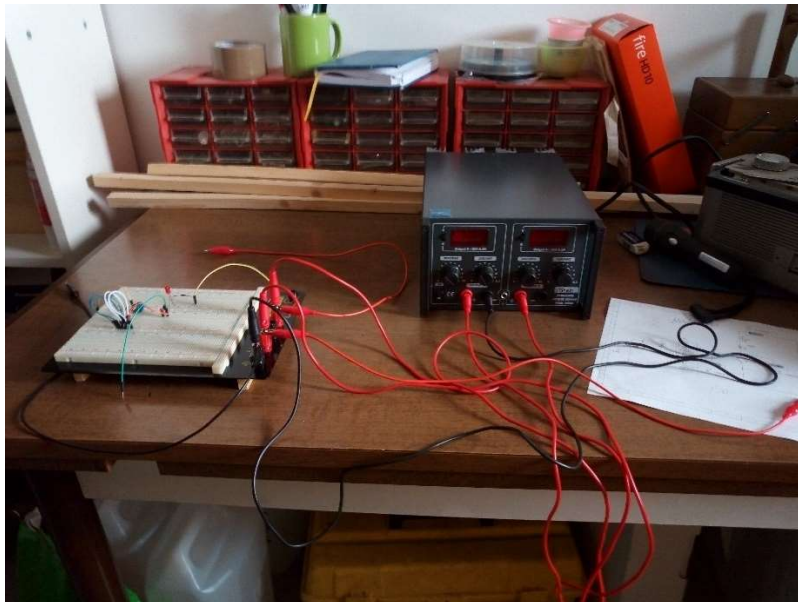
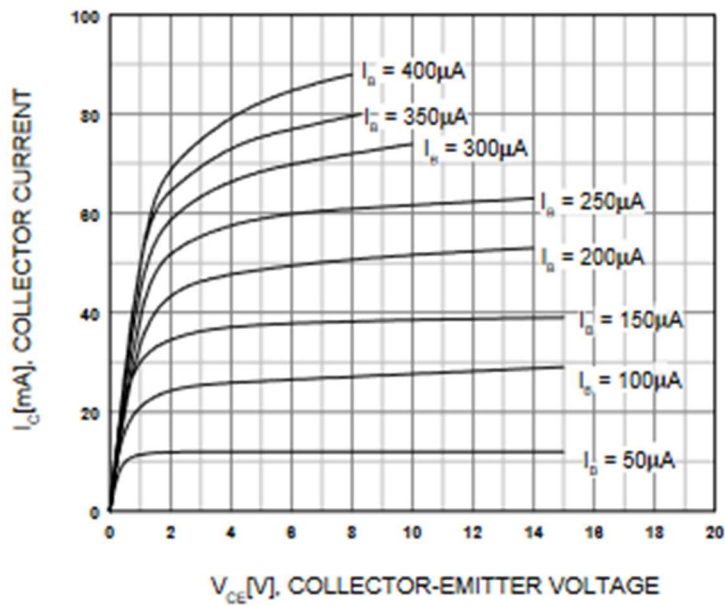


Figura 8 Il circuito montato su breadboard.

Il LED è sempre acceso quando almeno un interruttore è chiuso infatti, il transistor è interdetto se tutti e 4 gli interruttori sono aperti ed è saturo se almeno uno degli interruttori è chiuso. Si ricorda che un transistor BJT è saturo se la giunzione base-emettitore è polarizzata direttamente e la tensione V_{CE} tra emettitore e collettore è bassa (nel caso del transistor usato circa 90mv).

Si riportano le caratteristiche di uscita del transistor BC547 in configurazione ad emettitore comune tratte dal datasheet.



Dal grafico si vede che quando il transistor è interdetto la corrente di collettore è molto bassa e non è sufficiente per far accendere il LED, mentre la tensione tra collettore ed emettitore è alta (2.52V nel caso in esame), la giunzione base-emettitore non è polarizzata direttamente perché la tensione ai suoi capi è troppo bassa: 420mV. Se almeno un interruttore è chiuso il transistor è in saturazione: la giunzione base-emettitore è polarizzata direttamente (dai valori misurati si vede che è circa 0.7V) e la tensione collettore-emettitore è bassa.

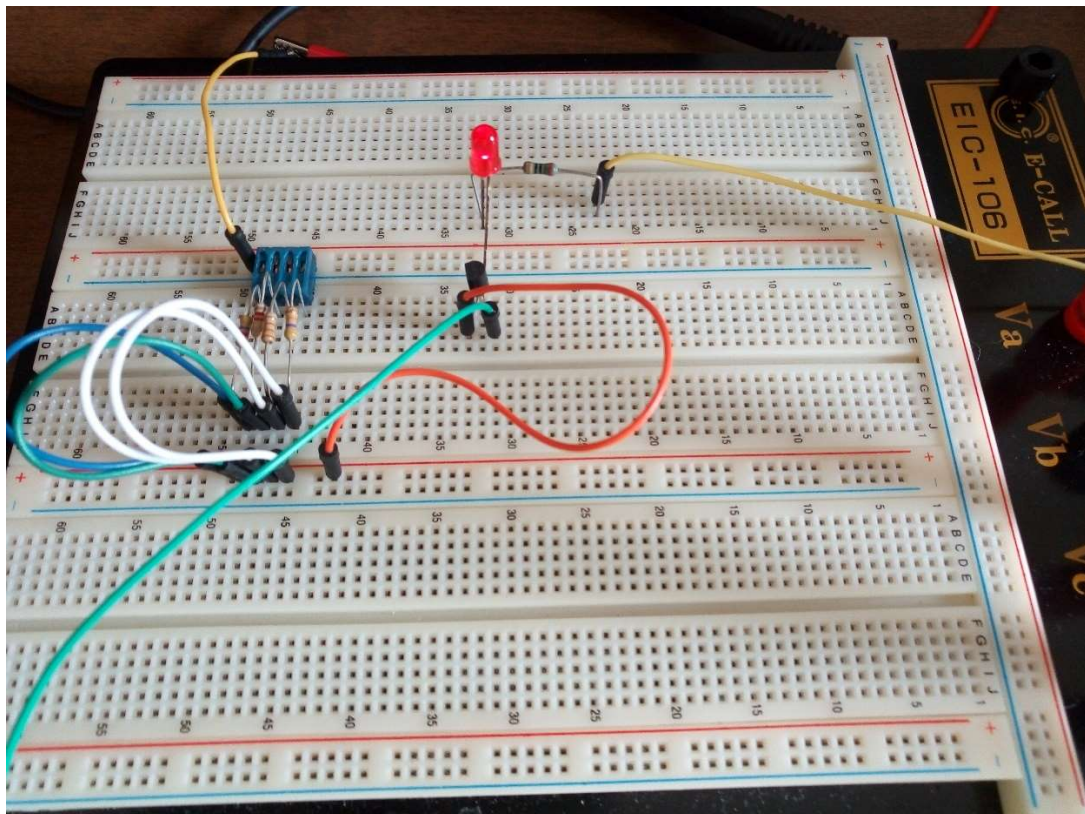


Figura 9 Il circuito montato su breadboard. Particolare.

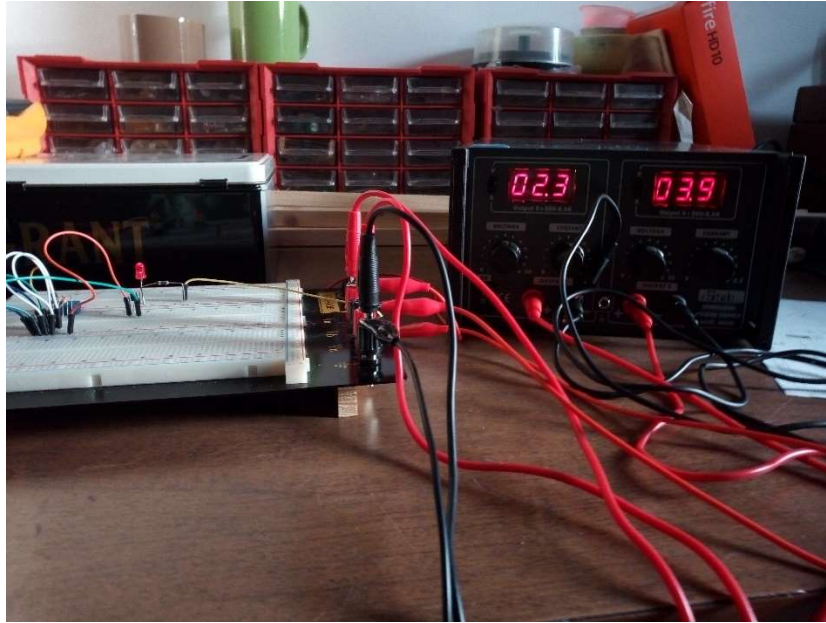


Figura 10 Il circuito alimentato.

Matilde Consales

