

# Semplici circuiti logici e Multivibratori

Gruppo BN

Federico Belliardo, Marco Costa, Lisa Bedini

30 marzo 2017

## 1 Scopo dell'esperienza

Nella prima parte dell'esperienza ci si propone di montare e verificare il funzionamento di semplici circuiti logici (AND, OR, XOR e sommatore a un bit) utilizzando solo porte NAND. Successivamente saranno montati un circuito Multivibratore monostabile e astabile per verificare la dipendenza lineare tra tempo di durata dell'impulso in uscita e la resistenza presente. Infine questi ultimi due circuiti verranno posti in serie per formare un generatore di onda quadra, per studiare la dipendenza tra le resistenze usate e il *duty cycle*.

## 2 Materiale occorrente

- 2 circuiti integrati SN7400 Quad-NAND Gate;
- DIP Switch a 4 interruttori;
- Diodo 1N4148;
- 2 diodi LED;

Disponiamo inoltre del circuito pulsatore montato nella precedente esperienza, costituito da un Arduino Nano e da un octal buffer/driver SN74LS244. Tutte le resistenze, i condensatori e la tensione di alimentazione sono stati misurati con il multimetro digitale, quindi l'errore è stato propagato secondo le specifiche nel manuale. I tempi e le restanti tensioni sono state misurate con i cursori dell'oscilloscopio: l'errore sui tempi è dato dalla risoluzione dei cursori stessi mentre quello sulle tensioni è stato propagato considerando sia l'errore sul posizionamento dei cursori sia l'errore sistematico del 3%.

## 3 Semplici circuiti logici

**Verifica porta NAND** Abbiamo montato il circuito in figura 1, con una tensione di alimentazione pari a  $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03$  V, e ne abbiamo verificato il funzionamento prima tramite il diodo LED poi tramite l'oscilloscopio. Si sono usati due interruttori e una resistenza di pull-up  $R_1 = 327 \pm 3 \Omega$  per mantenere l'input a livello alto anche nel caso di interruttori aperti<sup>1</sup>. In tabella 1 si possono vedere i valori di output attesi, 1 corrisponde al livello alto mentre 0 corrisponde al livello basso. Si nota che il LED è spento nel caso di  $I_1 = I_2 = 0$  mentre è acceso in tutti gli altri casi. La verifica con l'oscilloscopio si effettua inserendo come input il circuito pulsatore di Arduino<sup>2</sup>, in questo modo vengono testati tutti gli stati. Quindi abbiamo visualizzato con l'oscilloscopio l'output, si veda l'immagine 2. Abbiamo usato la traccia di output per il trigger. I risultati sono in accordo con le previsioni teoriche.

$I_1$	$I_2$	$O$
1	0	1
1	1	0
0	1	1
0	0	1

Tabella 1: Tabella di verità della porta NAND.

<sup>1</sup>Sapendo che per ottenere uno zero nella logica TTL bisogna collegare materialmente a 0 l'ingresso dato che di default l'ingresso è alto.

<sup>2</sup>Abbiamo usato una frequenza di circa 1kHz.

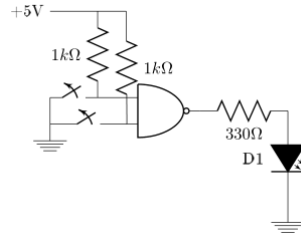


Figura 1: Schema circuitale della porta NAND.

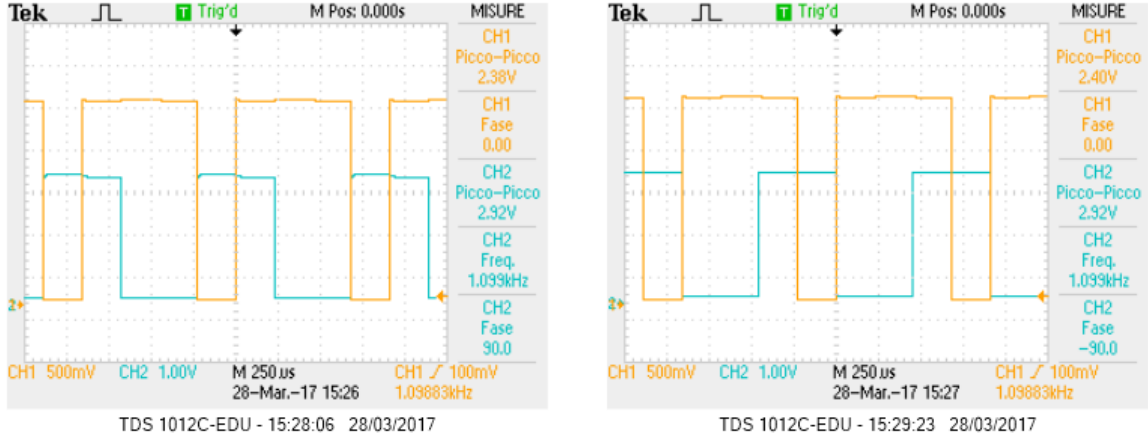


Figura 2: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

**Circuito AND** E' stato realizzato il circuito in figura 3 e la tabella di verità (vedi tabella 2), anche in questo caso si è visualizzato l'output sull'oscilloscopio (figura 4), triggerando sul segnale in uscita. Si nota che l'andamento è quello previsto, infatti nelle immagini fornite dall'oscilloscopio si nota che soltanto quando entrambi gli ingressi sono a livello alto, anche l'uscita è alta.



Figura 3: Schema del circuito AND.

$I_1$	$I_2$	$O$
1	0	0
1	1	1
0	1	0
0	0	0

Tabella 2: Tabella di verità del circuito AND.

**Circuito OR** E' stato montato il circuito in figura 5. In tabella 3 è stata rappresentata la tabella di verità e in figura 6 si può osservare l'andamento dell'output. Si nota che l'uscita è a livello basso quando entrambi gli ingressi sono a 0. Anche in questo caso abbiamo triggerato sull'output e i risultati sono in accordo con le previsioni teoriche.

$I_1$	$I_2$	$O$
1	0	1
1	1	1
0	1	1
0	0	0

Tabella 3: Tabella di verità del circuito OR.

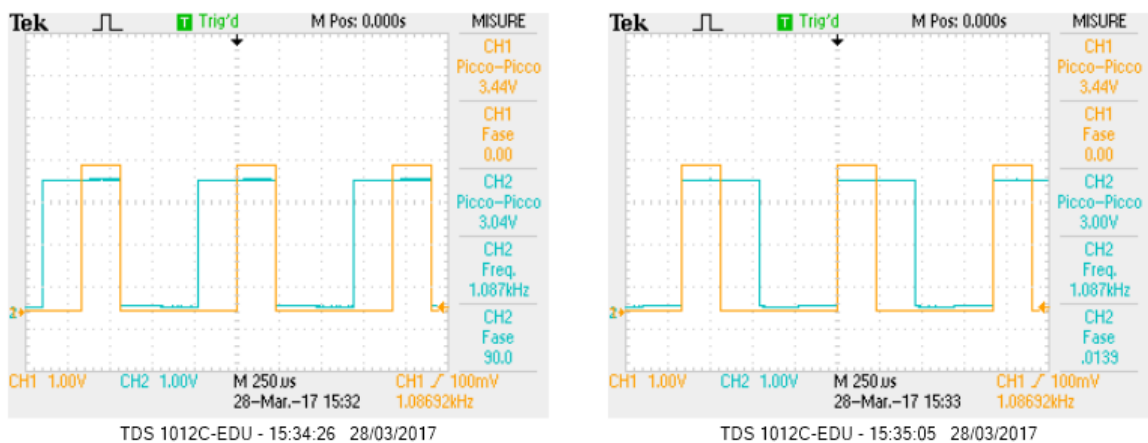


Figura 4: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

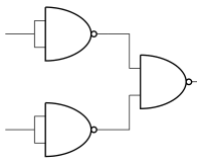


Figura 5: Schema del circuito OR.

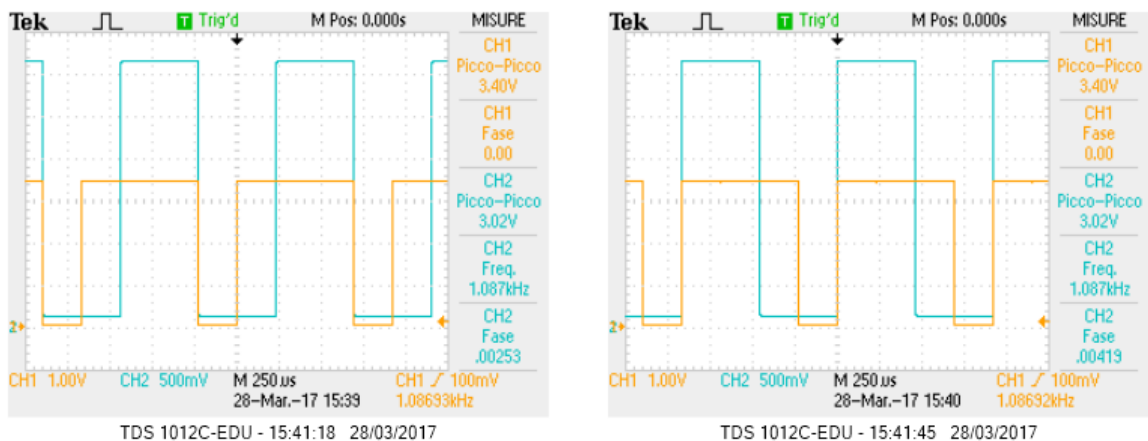


Figura 6: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

**Circuito XOR** Abbiamo montato il circuito in figura 7, scritto la tabella di verità (tabella 4) e osservato l'output sull'oscilloscopio (figura 8). In questo caso abbiamo dovuto triggerare su un ingresso perchè la frequenza dell'uscita è doppia rispetto a quella dell'ingresso.

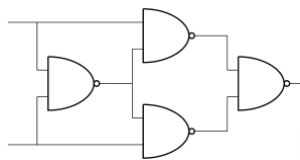


Figura 7: Schema del circuito XOR.

**Circuito sommatore a un bit** Il circuito sommatore a un bit in figura 9 è stato montato aggiungendo al circuito XOR un NOT che preleva il segnale in uscita dal primo NOT e fornisce l'uscita R. Anche in questo caso abbiamo scritto la tabella di verità (tabella 5) e visualizzato l'output con l'oscilloscopio (figura 10). Abbiamo triggerato sull'uscita R e i risultati sono in accordo con quanto atteso.

$I_1$	$I_2$	$O$
1	0	1
1	1	0
0	1	1
0	0	0

Tabella 4: Tabella di verità del circuito XOR.

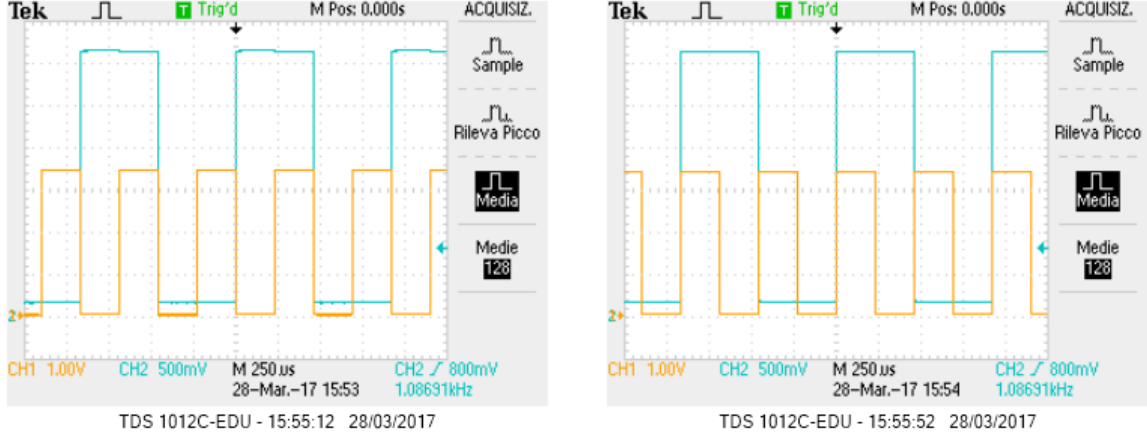


Figura 8: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

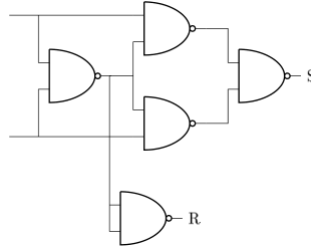


Figura 9: Schema del circuito sommatore a un bit.

$I_1$	$I_2$	$S$	$R$
1	0	1	0
1	1	0	1
0	1	1	0
0	0	0	0

Tabella 5: Tabella di verità del circuito sommatore.

## 4 Multivibratore monostabile

Abbiamo montato il circuito in figura 11. I componenti sono stati misurati con il multimetro digitale e risultano essere  $R_1 = 470 \pm 4 \Omega$  e  $C_1 = 110 \pm 4 \text{ nF}$ . Si è scelta come corrente di alimentazione  $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03 \text{ V}$  e come frequenza dell'onda quadra inviata dal generatore di funzioni  $f = 5.16 \pm 0.05 \text{ kHz}$ . Il periodo risulta quindi pari a  $T = 194 \pm 2 \mu\text{s}$  e la durata dell'impulso in uscita  $t = 12.8 \pm 0.2 \mu\text{s}$ , ottenendo così un *duty cycle* pari a  $6.6 \pm 0.1\%$ . Si è misurata una tensione massima di  $4.3 \pm 0.1 \text{ V}$ . Abbiamo osservato all'oscilloscopio l'andamento delle tensioni  $V_{IN}$ ,  $V_{OUT}$  e  $V_C$ , notando che quando in ingresso si ha l'impulso, NAND1 lo interpreta come un 1 quindi all'ingresso di NAND2 si ha uno 0, l'uscita è alta e il condensatore si carica tramite la resistenza. A causa della carica di  $C_1$ ,  $V_C$  diminuisce esponenzialmente fino al valore di commutazione  $V_C = 1.44 \pm 0.04 \text{ V}$  che corrisponde a  $V_{IH}$  per NAND3. Raggiunto questo valore l'ingresso di NAND3 è interpretato come uno 0 quindi all'ingresso di NAND2 si hanno due 1, pertanto la sua uscita diventa bassa e la tensione  $V_C$  diventa negativa. Il diodo entra quindi in interdizione e limita il valore di  $V_C$  a  $0.80 \pm 0.02 \text{ V}$ . A questo punto il condensatore si carica finché non arriva un altro impulso. In questo ciclo la carica del condensatore si conserva al variare dei valori logici perché i tempi di commutazione dei NAND sono molto minori dei tempi di carica e scarica di  $C_1$ . Il tempo atteso caratteristico del circuito RC è  $\tau_{att} = 52 \pm 2 \mu\text{s}$ . Abbiamo verificato che variando la frequenza in ingresso da circa  $33 \text{ kHz}$  a circa  $10 \text{ kHz}$  la durata dell'impulso  $t$  in uscita non cambia, mentre si ha una dipendenza di

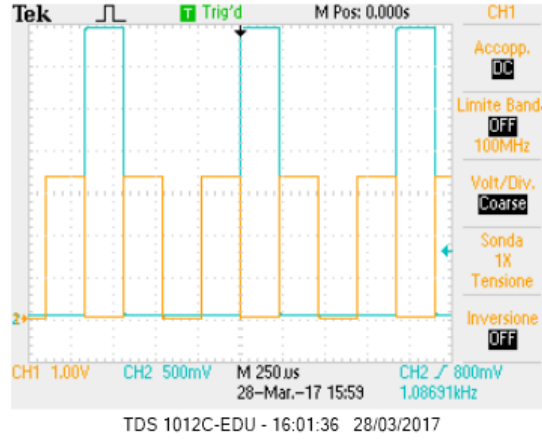


Figura 10: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è S e in canale 2 R.

t dalla resistenza. Infatti abbiamo variato il valore della resistenza  $R_1$  e misurato la durata dell'impulso, i dati sono presenti in tabella 6. Per convalidare l'ipotesi di linearità è stato eseguito un *fit* lineare del tipo  $t = aR_1 + b$  ottenendo i seguenti valori:  $a = 0.111 \pm 0.001 \mu s/\Omega$ ,  $b = -11 \pm 1 \mu s$   $\chi^2/ndof = 11.57/3$ . Dal grafico in figura 12 è evidente l'andamento lineare eccetto che per gli ultimi punti con un valore della resistenza alto, per cui si ha un aumento del  $\chi^2$ . Questo è probabilmente dovuto al fatto che l'andamento lineare è apprezzabile se i valori delle resistenze non si discostano troppo da quello di  $R_1$ , mentre per valori molto maggiori non si può più assumere la linearità a priori.

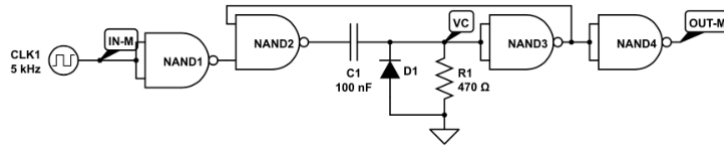


Figura 11: Schema del circuito multivibratore monostabile.

$R_i[\Omega]$	$\Delta R_i[\Omega]$	$t[\mu s]$	$\Delta t[\mu s]$
327	3	25.8	0.2
470	4	41.6	0.2
669	5	69.2	0.6
824	7	82	1
984	8	102	1
1183	9	118	1
1454	11	140	1

Tabella 6: Presa dati per verificare la linearità fra  $R$  e  $t$ .

## 5 Multivibratore astabile

Abbiamo montato il circuito in figura ??, misurando con il multimetro digitale  $R_2 = 989 \pm 8 \Omega$ ,  $C_2 = 107 \pm 4 \text{ nF}$  e  $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03 \text{ V}$ . Si sono osservati all'oscilloscopio  $V_{C,2}$  e  $V_{OUT}$ , quindi abbiamo misurato il periodo in uscita  $T = 202 \pm 1 \mu s$  e  $t = 128 \pm 1 \mu s$  *duty cycle* pari a  $63.4 \pm 0.6\%$ . In questo circuito tutte le porte NAND sono usate in configurazione NOT, quindi se l'ingresso di NAND5 è alto, l'uscita di NAND6 è alta, quindi il condensatore si carica attraverso la resistenza provocando una diminuzione esponenziale della tensione  $V_{C,2}$  fino al valore di commutazione  $V_{IH} = 1.48 \pm 0.04 \text{ V}$ . A questo valore  $V_{C,2}$  ha un brusco cambiamento fino a  $-1.16 \text{ V}$  e l'uscita del NAND7 diventa alta, quindi il condensatore si scarica e  $V_{C,2}$  aumenta fino al valore  $1.44 \pm 0.04 \text{ V}$  quando si ha un altro brusco cambiamento di  $V_{C,2}$ . L'elemento NAND8 serve a invertire il segnale.

Come per il circuito multivibratore monostabile abbiamo variato il valore della resistenza per verificare la dipendenza lineare tra  $R_2$  e il periodo in uscita T, quindi abbiamo eseguito un *fit* lineare propagando l'errore sia sulle ascisse che sulle ordinate, figura 14 e ottenuto  $a = 0.195 \pm 0.003 \mu s/\Omega$ ,  $b = 10 \pm 3 \mu s$  e  $\chi^2/ndof = 5.73/4$ .

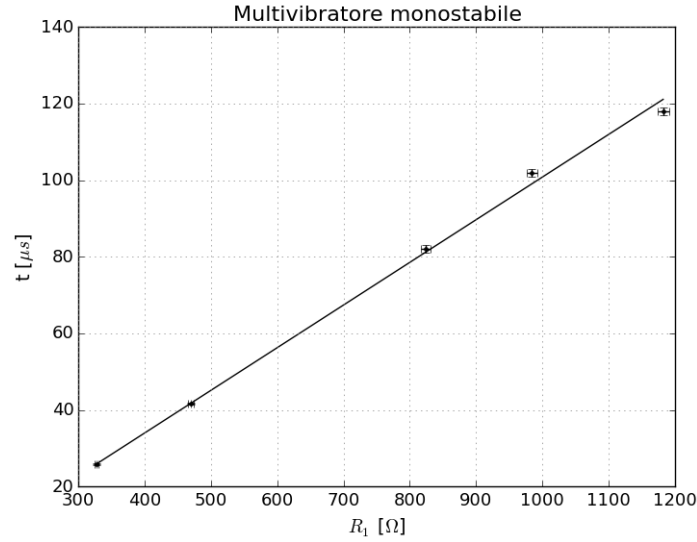


Figura 12: Grafico di  $t$  in funzione di  $R_1$  e  $fit$  lineare.

$R_i[\Omega]$	$\Delta R_i[\Omega]$	$T[\mu s]$	$\Delta T[\mu s]$
669	5	141	1
824	7	170	1
989	8	202	1
1183	9	243	1
1454	11	298	2
1788	14	354	2
2130	17	446	3

Tabella 7: Presa dati per verificare la linearità fra  $R$  e  $T$ .

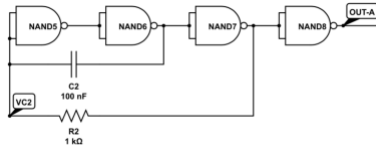


Figura 13: Schema del circuito multivibratore astabile.

## 6 Generatore di onda quadra

Il multivibratore astabile è stato collegato al monostabile tramite un derivatore, in modo da ottenere il generatore di onda quadra in figura 15. Si sono usati gli stessi componenti dei circuiti precedenti come  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  e  $C_2$  e si sono misurate  $R_3 = 989 \pm 8 \Omega$  e  $C_3 = 10.2 \pm 0.4 \text{ nF}$ . Da un'analisi qualitativa del circuito si suppone che il periodo dell'onda all'uscita del monostabile dipenda solo dalla costante tempo  $\tau_2 = C_2 R_2$  e che la durata dell'impulso  $t$  dipenda solo dalla costante  $\tau_1 = C_1 R_1$ . Per verificare questa ipotesi abbiamo cambiato  $R_1$  e  $R_2$  in modo alternato, i dati sono visibili in tabella 8. Come atteso, cambiando il valore della sola  $R_1$  non si hanno variazioni significative del periodo; viceversa, modificando solo il valore di  $R_2$  la durata dell'impulso non cambia. Infine abbiamo stimato i valori delle resistenze per ottenere  $T = 100 \mu s$  e *duty cycle* pari al 30%, sfruttando le relazioni lineari ottenute dai *fit*:  $R_1 \simeq$  e  $R_2 \simeq$ . L'ultima misura presente in tabella 8 si riferisce a questa parte e il *duty cycle* relativo risulta pari al TOT

outM  
inM

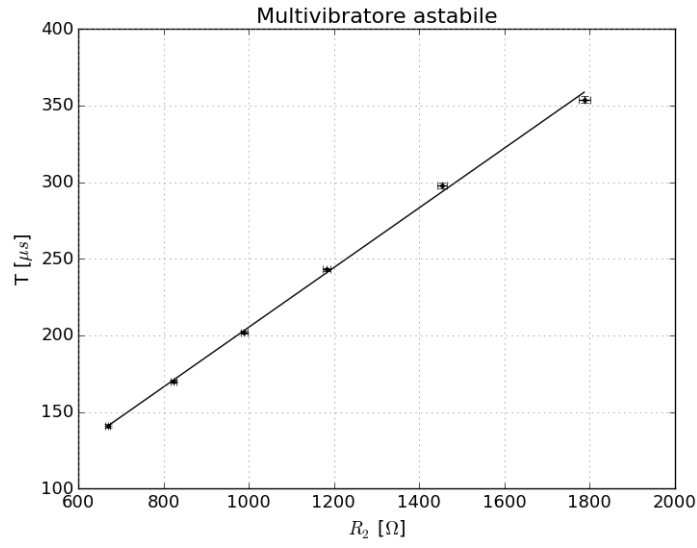


Figura 14: Grafico di  $T$  in funzione di  $R_2$  e  $fit$  lineare.

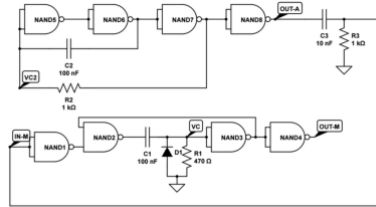


Figura 15: Schema del generatore di onda quadra.

$R_{1i}[\Omega]$	$\Delta R_{1i}[\Omega]$	$R_{2i}[\Omega]$	$\Delta R_{2i}[\Omega]$	$T[\mu s]$	$\Delta T[\mu s]$	$t[\mu s]$	$\Delta t[\mu s]$
470	3	1454	11	290	2	46.6	0.2
385	3	1454	11	290	2	36.0	0.2
385	3	1183	9	238	1	35.8	0.2
218	2	1183	9	238	1	16.3	0.1
218	2	824	7	171	1	16.3	0.1
385	3	669	5	142	1	34.6	0.2
385	3	469	3	108	1	32.8	0.2

Tabella 8: Presa dati per verificare la dipendenza della forma d'onda in uscita dalle resistenze.