

# Esperienza 10: caratteristiche fisiche porte logiche

Gruppo BN  
Federico Belliardo, Marco Costa, Lisa Bedini

March 26, 2017

## 1 Scopo dell'esperienza

Lo scopo dell'esperienza è misurare le caratteristiche statiche e dinamiche delle porte NOT dell'integrato SN74LS04.

## 2 Materiale occorrente

- IC SN74LS04;
- trimmer da 2 k $\Omega$  10 k $\Omega$  e 100 k $\Omega$ ;
- Arduino Nano;
- IC SN74LS244;

## 3 Caratteristiche statiche

Abbiamo montato il circuito come in figura 1. I valori delle componenti sono state misurate tramite multimetro digitale. Come incertezze abbiamo preso quelle riportate sul manuale dello strumento. Abbiamo misurato la tensione di alimentazione  $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03V$  tramite multimetro digitale (incertezza riportata nel manuale), nei limiti di funzionamento riportati nel datasheet.

### 3.1 Misura delle tensioni di operazione

Per ottenere diversi valori di  $V_{in}$  abbiamo variato opportunamente il trimmer (che ha la funzione di partitore di tensione). Una volta fissata la sua posizione, abbiamo misurato tramite multimetro digitale<sup>1</sup>  $V_{in}$  e  $V_{out}$ . In tabella 1 e in figura 2 abbiamo riportato le misure ottenute.

Si osserva che  $V_{out}$  va da un massimo di  $V_{OH,max} = 4.3 \pm 0.1V$  fino a  $V_{OH,min} = 3.7 \pm 0.1V$ , valore subito dopo il quale si osserva una rapida variazione di  $V_{out}$ , dopo la quale si ha transizione al livello basso dell'Output. Come incertezza si è preso il range in cui si distinguono i due regimi. Si può considerare quindi che l'uscita della porta sia al livello alto nella fascia trovata. Pertanto abbiamo stimato  $V_{OH} = 3.7 \pm 0.2V^2$ . Abbiamo stimato l'incertezza su questo valore come la differenza fra il primo punto per cui si è osservata la variazione e quello immediatamente precedente.

Come stima di  $V_{OL}$  abbiamo preso  $0.15 \pm 0.05V$ , ossia il valore asintotico. Abbiamo tuttavia una grande incertezza su questa stima: in effetti abbiamo riscontrato difficoltà a prendere misure per valori di  $V_{out}$  poco superiori a 0.144V; in particolare, era sufficiente una leggera variazione della posizione del trimmer per portare  $V_{out}$  dal valore di 2.15V a 0.144V. Per quanto riguarda le tensioni in ingresso, si osserva che esse vengono considerate dalla porta come valore basso in un range che va da 0 a 0.8V circa, mentre alto da 1.3V in poi. Per

<sup>1</sup>E' lo strumento di misure di tensione in continua con maggiore resistenza interna.

<sup>2</sup>In accordo con la definizione data di  $V_{OH}$ .

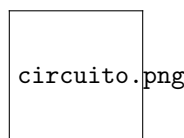


Figure 1: Circuito utilizzato.

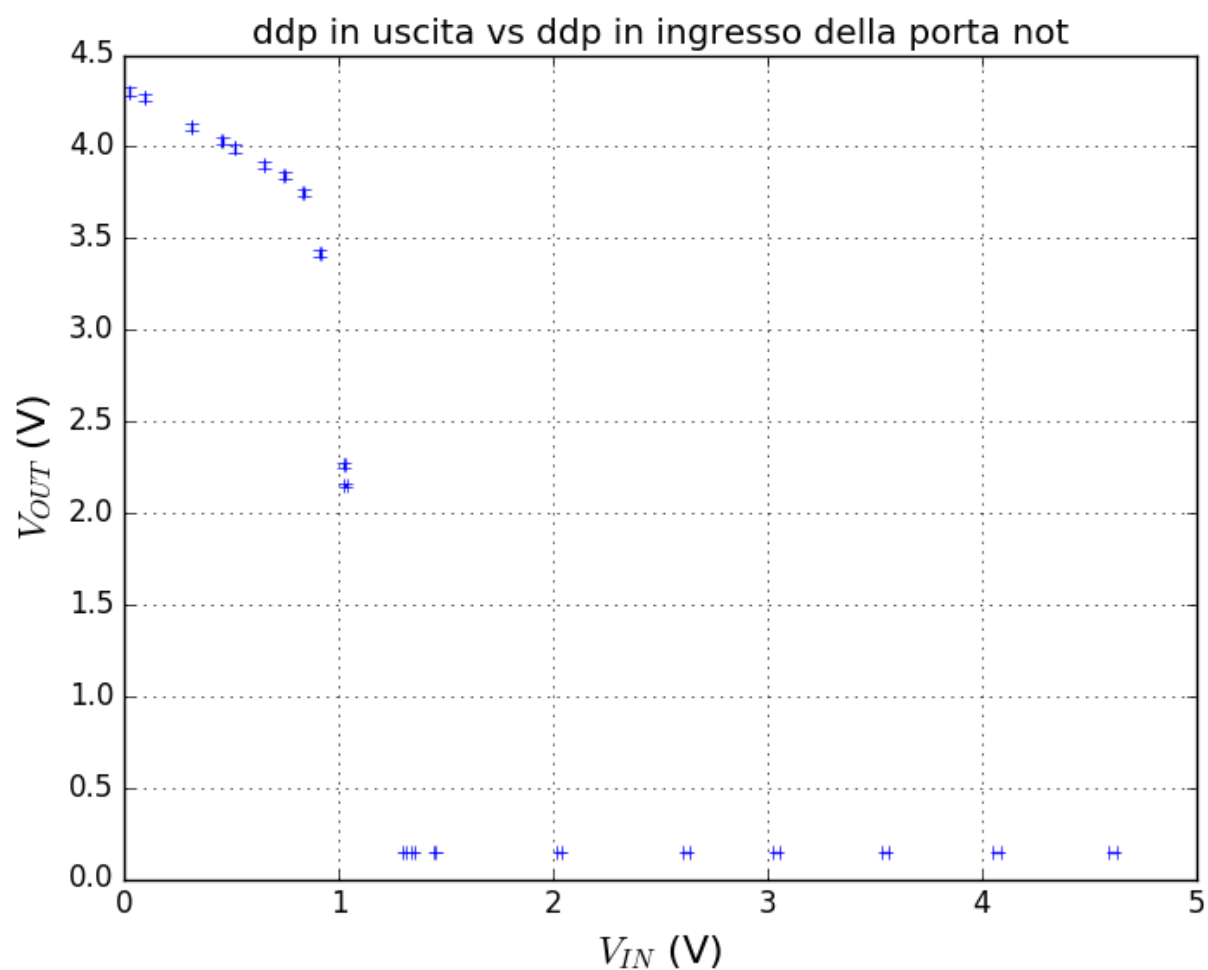


Figure 2:  $V_{out}$  in funzione di  $V_{in}$ .

0	0
---	---

Table 1: Misure dei potenziali  $V_{in}$ ,  $V_{out}$ .

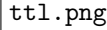


Figure 3: Schema circuitale di NOT TTL (presente negli '04).

stimare i valori di soglia  $V_{IL}$ ,  $V_{IH}$ , abbiamo preso i valori di  $V_{in}$  per i quali si osserva l'inizio della transizione di  $V_{out}$  da un livello logico all'altro. Con i dati presi si è stimato  $V_{IL} = 0.8 \pm 0.1V$ , dove come incertezza abbiamo preso la differenza di  $V_{IL}$  dal primo valore di  $V_{in}$  per il quale  $V_{out}$  inizia a scendere bruscamente. In modo del tutto analogo si ha  $V_{IH} = 1.3 \pm 0.2V$ . I valori stimati risultano tutti in buon accordo con quanto riportato sul datasheet:  $V_{IL,att} = 0.8V$ ,  $V_{IH,att} = 2V$ ,  $V_{OL,att} = 0.25V$ ,  $V_{OH,att} = 3.4V$ . Il comportamento che si osserva per valori di  $V_{in}$  compresi fra  $V_{IL}$  e  $V_{IH}$  può essere spiegato in termini del circuito in figura 3. Quando si supera  $V_{IL}$  (ossia si passa da stato basso a alto), il transistor Q1 passa dal regime di saturazione a interdizione; conseguentemente Q2 e Q4 passano da regime di interdizione a saturazione (scorre corrente nella maglia che non contiene Q1) e l'output cambia stato. Dato che le transizioni nei transistor non sono immediate, ed è necessario che le varie giunzioni cambino polarità, si ha una fascia di  $V_{in}$  compresa tra  $V_{IL}$  e  $V_{IH}$  in cui si ha un  $V_{out}$  intermedio fra  $V_{OH}$  e  $V_{OL}$ .

### 3.2 Misura delle correnti in ingresso

Abbiamo inserito l'amperometro in serie all'ingresso del circuito di figura 1 e abbiamo misurato  $I_{in}$  al variare di  $V_{in}$ <sup>3</sup>. Per avere più sensibilità sulla misura di corrente si è usato il multimetro analogico e l'incertezza usata è quella riportata nel manuale. Il segno di  $I_{in}$  è positivo se entrante nella porta. I dati sono riportati in tabella?? e in figura4. Ci aspettiamo che per  $V_{in}$  a livello basso si abbia una corrente uscente (negativa), in quanto l'input è come se fosse collegato direttamente a  $V_{CC}$  tramite la giunzione polarizzata direttamente BE di Q1 ( figura 3). Viceversa, se  $V_{in}$  è alto, Q1 è in interdizione e quindi si avrà una corrente entrante circa nulla. Si osserva che per  $V_{in}$  corrispondenti al valore logico basso, si ha una corrente  $I_{in}$  negativa e dell'ordine delle centinaia di  $\mu A$  (massimo sui  $260\mu A$ ), mentre per  $V_{in}$  su stato alto, si ha una corrente nulla entro l'errore. Abbiamo stimato i valori delle correnti di soglia in corrispondenza dei punti in cui si hanno variazioni brusche dell'andamento di  $I_{in}$ <sup>4</sup>. Si ha quindi  $I_{IH} = 0.0 \pm 0.5\mu A$  e  $I_{IL} = -180 \pm 20\mu A$ . I rispettivi valori massimi riportati sul datasheet sono  $I_{IL,att} = -0.4mA$ ,  $I_{IH} = 20\mu A$ . I valori stimati quindi rientrano nei limiti riportati dal costruttore.

### 3.3 Misura delle correnti in uscita

Per misurare la massima e minima corrente in uscita dalla porta, abbiamo montato il circuito<sup>5</sup> come in figura 5. Per ricavare  $I_{out}$  abbiamo misurato la caduta di potenziale  $V_{AB} = V_A - V_B$  ai capi della resistenza  $R_2$  tramite multimetro digitale e poi si è diviso per  $R_2 = 98 \pm 1\Omega$ . Si è preso il segno della corrente positivo se entrante nella porta. Per la misura di  $I_{OL}$  si collega l'uscita a  $V_{CC}$  e si varia il potenziometro  $R_1$  in figura 5 in modo che l'uscita sia in stato basso. Per verificare che l'uscita fosse effettivamente nello stato basso, si è controllato  $V_{out}$  tramite oscilloscopio. Abbiamo deciso di prendere la misura di corrente in corrispondenza del valore di  $V_{OL}$  stimato in precedenza. Tuttavia, in questo modo si ottiene  $V_{AB} = 4.60 \pm 0.4mV$  e quindi  $I_{out} = 47 \pm 1\mu A$ , che risulta più basso del valore riportato sul datasheet  $I_{OL,att} = 8mA$ . Abbiamo quindi deciso di prendere una ulteriore misura, in corrispondenza del punto in cui si osservava una brusca variazione di  $V_{out}$  e  $V_{AB}$ . Ciò avviene per  $V_{out} = 380 \pm 3mV$  e  $V_{AB} = 700 \pm 7mV$ , da cui  $I_{out} = 7.1 \pm 1mA$ . Così si ottiene una stima più vicina al valore nominale. Abbiamo quindi scelto questo valore come  $I_{OL}$ . Un motivo per cui fallisce il metodo di stimare  $I_{OL}$  come la  $I_{out}$  a  $V_{OL}$  è che nelle misure riportate nel grafico 2 non si è riusciti a ottenere misure di  $V_{out}$  che non fossero del valore limite  $0.144V$ . In effetti, sempre facendo riferimento allo stesso grafico, si osserva che il  $V_{out}$  a cui è stata presa  $I_{OL}$  non è così lontano dalla zona in cui l'output è considerato basso. Per la misura di  $I_{OH}$  si collega l'uscita al ground facendo in modo che essa sia in stato alto. Abbiamo preso la misura in corrispondenza di  $V_{OUT} = 3.7 \pm 0.1V$ , ossia il valore stimato di  $V_{OH}$  (in corrispondenza di tale valore si aveva anche una brusca variazione della corrente e di  $V_{OUT}$ ). Così si ottiene  $V_{AB} = -13.8mV$  e quindi  $I_{OH} = -0.141 \pm 0.001mA$ , valore in accordo con quanto riportato nel datasheet  $I_{OH,att} = -0.4mA$ . La strategia di mettere  $V_{out}$  pari alla stima del valore di soglia ottenuto in questo caso funziona meglio perchè i dati del grafico 2 coprono un intorno sufficientemente grande del punto in cui avviene la variazione brusca di corrente. Una spiegazione della rapida variazione di  $I_{in}$  è che se diminuiamo troppo la resistenza di carico all'uscita della porta NOT, l'integrato deve erogare più corrente affinché ci sia la giusta differenza di potenziale fra  $V_{out}$  e  $V_A$  (il quale è tenuto a potenziale costante tramite opportuno collegamento). Se la corrente necessaria supera la

<sup>3</sup>La procedura per variare  $V_{in}$  è la stessa del punto precedente.

<sup>4</sup>Questi sono anche punti in cui  $V_{in}$  è prossimo a  $V_{IL}$ ,  $V_{IH}$ .

<sup>5</sup>Il circuito collegato all'ingresso della porta è lo stesso di prima.

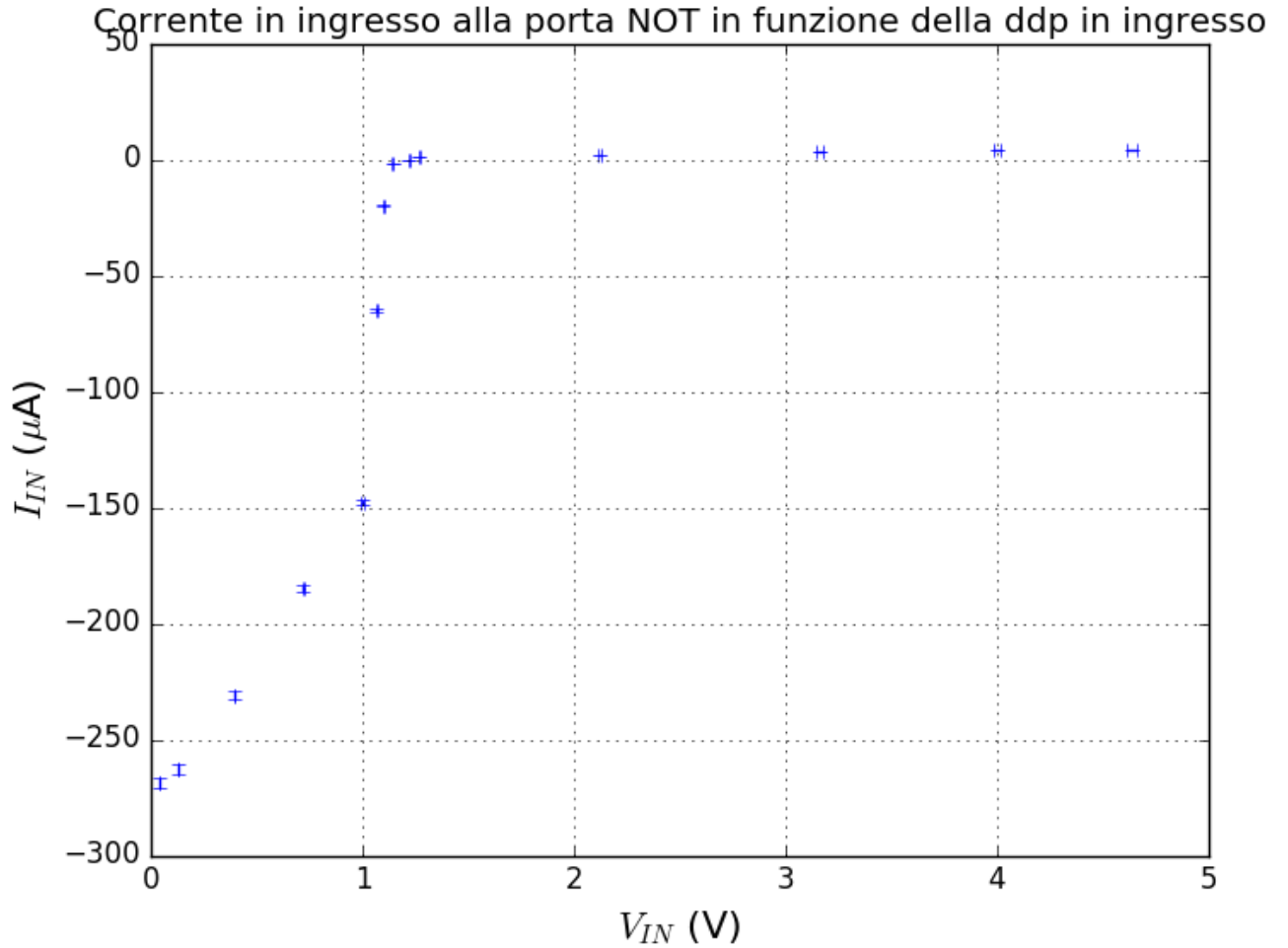


Figure 4: Corrente in ingresso alla porta NOT in funzione di  $V_{in}$ .

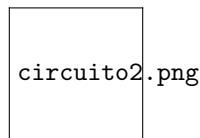


Figure 5: Schema del circuito utilizzato per la misura delle correnti di uscita.

corrente massima erogabile, il circuito non funziona più come NOT e quindi si ha una variazione della corrente. Con questi valori si è dato una stima del *fanout*. Le correnti che determinano tale valore sono  $I_{OL}$  e  $I_{IL}$ , in quanto  $I_{IH}$  è nulla (al più dell'ordine del  $\mu A$ ), e quindi si possono alimentare più facilmente porte quando si è nello stato alto. Si ha  $fanout = I_{IL}/I_{OL} = 39 \pm 2$ , mentre utilizzando le correnti di soglia nominali si ottiene  $fanout, att = 20$ . Il risultato ottenuto è dello stesso ordine di grandezza di quello stimato.

## 4 Montaggio di Arduino

Abbiamo montato il circuito pulsatore in figura 6. Successivamente abbiamo verificato il suo comportamento da generatore di onde quadre. La frequenza del segnale dipende dalla posizione del trimmer, e va da qualche Hz ai 50 kHz. L'ampiezza dell'onda picco-picco è pari a  $v_{pp} = 3.16 \pm 0.04V$ . In figura 7 si possono osservare i segnali (misurati tramite oscilloscopio) alle uscite  $Y_1$  e  $Y_2$ .

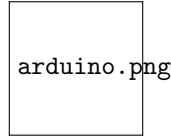


Figure 6: Schema del pulsatore utilizzato.

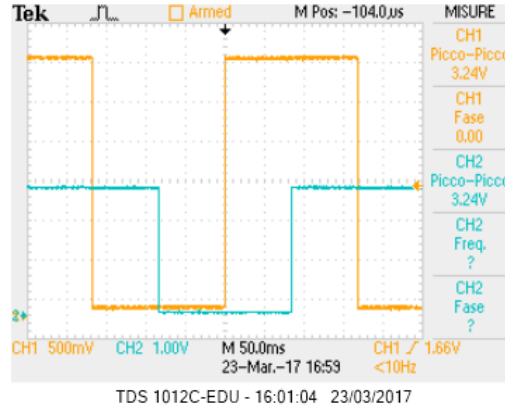


Figure 7: Onde sfasate di  $\pi/2$  in uscita a  $Y_1$ ,  $Y_2$ . L'ampiezza dei segnali è la stessa, si sono solo usate scale diverse per comodità grafica.

## 5 Caratteristiche dinamiche

### 5.1 Onda in ingresso

Si è generato tramite Arduino un segnale ad onda quadra di frequenza di circa  $1.01 \pm 0.1$  kHz di ampiezza da 0 a  $3.16 \pm 0.4$  V. In figura 8 si può osservare il corretto funzionamento della porta NOT. Si è effettuata la misura tramite oscilloscopio. Le incertezze sui potenziali sono la sensibilità del cursore più il 3% di calibrazione, mentre sui tempi il massimo fra la sensibilità del cursore e la semidispersione dei valori plausibili.

### 5.2 Misura dei tempi di propagazione

Abbiamo eseguito una misura dei due tempi di propagazione, misurando il tempo fra i segnali in ingresso e in uscita fra i due punti a metà della  $v_{pp}$  della rampa in salita e discesa rispettivamente. In figura 9 e ?? si possono osservare il tempo di propagazione  $t_{PHL}$  e  $t_{PLH}$  rispettivamente.

La misura di tempo è stata eseguita tramite oscilloscopio. L'incertezza sui tempi è dovuta sia alla sensibilità dei cursori, sia all'incertezza sul trovare i punti con il giusto potenziale. Per stimarla si è presa la semidispersione sui valori misurati nei punti con potenziale compatibile con la metà entro la sensibilità del cursore dei potenziali<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>L'oscilloscopio utilizzato consentiva di visualizzare contemporaneamente entrambe le coordinate del punto in cui si prendeva la misura.

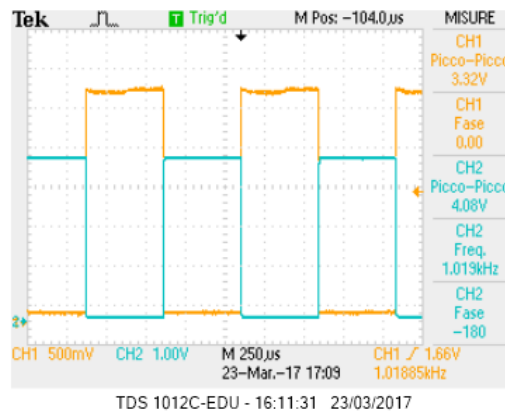


Figure 8:

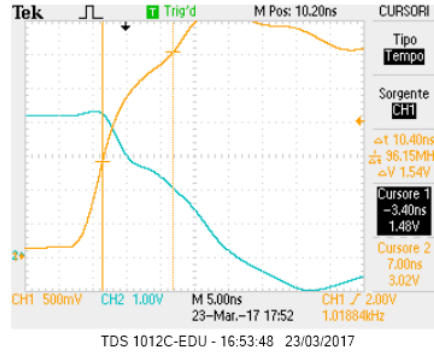


Figure 9: Tempo di propagazione  $t_{PHL}$ .

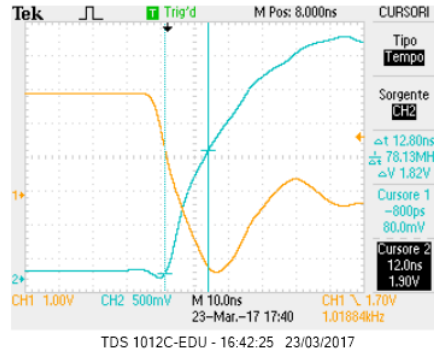


Figure 10: Tempo di propagazione  $t_{PLH}$ .

I valori riportati nel datasheet sono  $t_{PHL_{att}} = 10\text{ns}$  e  $t_{PLH_{att}} = 9\text{ns}$ <sup>7</sup>. I valori misurati sono  $t_{PHL} = 10.2 \pm 0.2\text{ns}$  e  $t_{PLH} = 12.8 \pm 0.4\text{ns}$ , pertanto sono in buon accordo con quanto riportato dal costruttore.

### 5.3 Misura del tempo di salita

Abbiamo misurato i tempi di salita  $t_s$  e discesa  $t_d$  del segnale in uscita e in ingresso, ossia il tempo necessario per passare dal 10% della  $v_{pp}$  massima<sup>8</sup> al 90% (il contrario per il tempo di discesa). In figura 11 abbiamo riportato il tempo di salita del segnale in ingresso per mostrare la procedura di misura utilizzata.

In tabella 2 sono riportati le misure:

## 6 Conclusioni

L'integrato si comporta come porta NOT entro i potenziali indicati dal costruttore. La stima delle correnti di soglia in uscita  $I_{OL}$ ,  $I_{OH}$  ha riportato alcune difficoltà, e i valori non sono in completo accordo con quanto

<sup>7</sup>Valori tipici con resistenza di carico  $R_L = 2\text{k}\Omega$ .

<sup>8</sup>Ai fini dei calcoli si considera  $v_{pp}$  senza overshoot.

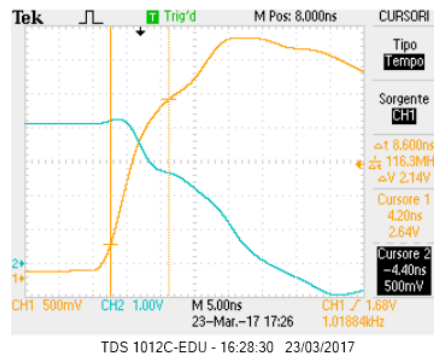


Figure 11: Tempo di salita del segnale in ingresso.

Segnale	$t_s$ (ns)	$t_d$ (ns)
Ingresso	$8.6 \pm 0.2$	$6.0 \pm 0.2$
Uscita	$36.2 \pm 0.2$	$20.4 \pm 0.4$

Table 2: Tempi di salita e discesa all'ingresso e all'uscita della porta NOT.

riportato sul datasheet. Il comportamento dinamico del circuito presenta ritardi nei tempi di salita in accordo con quanto atteso.