

# EsD1: Caratterizzazione di porte logiche e semplici circuiti logici.

Gruppo 1.AC  
Matteo Rossi, Bernardo Tomelleri  
7 aprile 2022

## Misura componenti dei circuiti

Resistenze [ $\Omega$ ]	$R$	$\sigma R$
$R_{\text{pot1}}$	9.53 k	0.08 k
$R_{\text{pot2}}$	9.78 k	0.08 k

Tabella 1: Valori di resistenza misurati per i componenti passivi dei circuiti studiati.

Riportiamo per completezza anche il valore della tensione continua di alimentazione per i circuiti integrati misurata con il multmetro

$$V_{CC} = 4.99 \pm 0.03V$$

## Nota sul metodo di fit

Per determinare i parametri ottimali e le rispettive covarianze si è implementato in Python un algoritmo di fit basato sui minimi quadrati mediante la funzione *curve\_fit* della libreria SciPy.

## Parte A: Caratteristiche fisiche delle porte logiche

Si studia il comportamento delle porte NOT TTL contenute nel circuito integrato SN7404 misurando le tensioni e correnti di operazione e verificando che queste rientrino nelle specifiche tecniche riportate nel Data-Sheet del chip in figura 1.

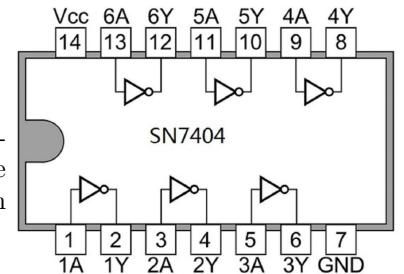


Figura 1: Schema convertitore Gray-Binario

## 1 Tensioni di operazione

Per prima cosa misuriamo i valori delle tensioni di soglia in ingresso e in uscita (e verifichiamo che rispettino le specifiche di buon funzionamento del DS) da cui è possibile ottenere una misura del Noise Margin delle porte.

Dalle specifiche del DS si ha che i valori attesi sono: (riportati in tabella 2) in cui  $V_O$  e  $V_I$  sono definite come le tensioni in uscita e in ingresso dalla porta logica (le altre diciture indicano se la grandezza a cui facciamo riferimento corrisponde a uno stato logico alto (H) o basso (L) e quali sono i massimi o minimi valori garantiti dal costruttore).

Parameter	min	typ	max	[Unit]
$V_{CC}$			7	V
$V_I$			5.5	V
$V_{OH}$	2.4	3.4		V
$V_{OL}$		0.2	0.4	V
$V_{IH}$	2			V
$V_{IL}$			0.8	V
$I_{IH}$			40	$\mu\text{A}$
$I_{OH}$			-0.4	mA

Tabella 2: Valori delle tensioni e correnti di operazione indicati sul datasheet dell'integrato SN7404.

### 1.a Misura delle tensioni di soglia dal grafico $V_{out}(V_{in})$

Generiamo una rampa di tensione compresa tra 0-5 V e la inviamo all'ingresso di una porta NOT per osservare i segnali generati in uscita, così da ottenere un grafico di  $V_{out}$  in funzione di  $V_{in}$ .

Abbiamo quindi utilizzato i cursori per misurare  $V_{OH}$  e  $V_{OL}$ , cioè la tensione che raggiunge l'uscita in saturazione per valore logico H e L rispettivamente, mentre per misurare  $V_{IL}$  e  $V_{IH}$  abbiamo misurato le tensioni in ingresso per cui inizia e finisce la commutazione dell'uscita secondo lo schema in fig. 2:

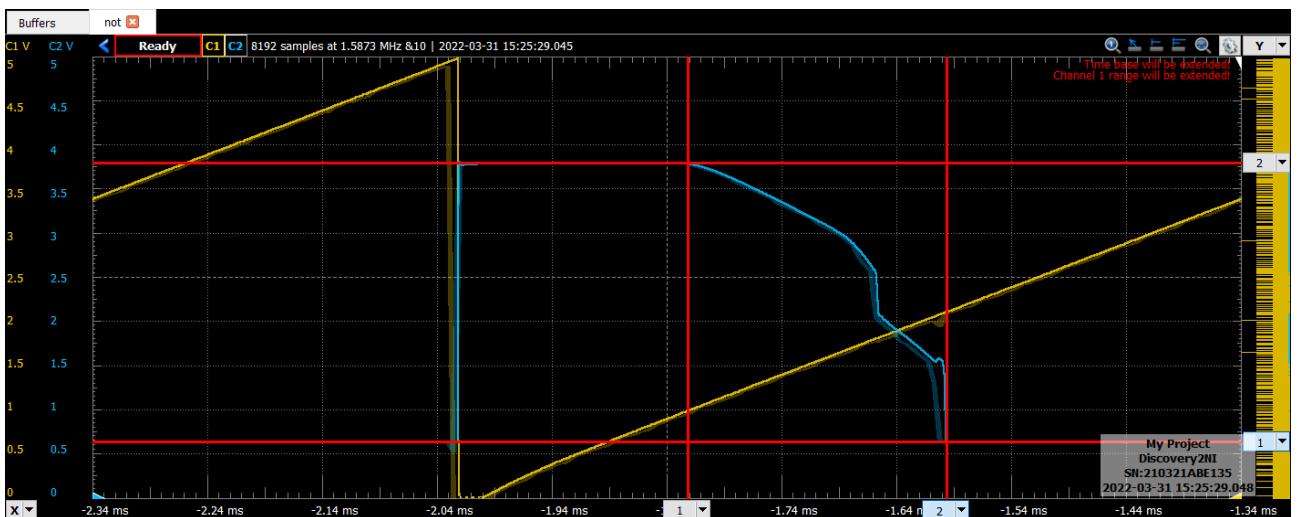


Figura 2: Schema di come sono stati utilizzati i cursori per misurare le tensioni  $V_{OH}$ ,  $V_{OL}$  (cursori orizzontali) e  $V_{IH}$ ,  $V_{IL}$  (aiutandosi con i cursori verticali a individuare la fase di transizione H->L)

$$\begin{aligned} V_{OH} &= 3.78 \pm 0.03 \text{ V} \\ V_{OL} &= 632 \pm 4 \text{ mV} \\ V_{IH} &= 2.10 \pm 0.02 \text{ V} \\ V_{IL} &= 979 \pm 9 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{OH} &= 3.76 \pm 0.03 \text{ V} \\ V_{OL} &= 341 \pm 3 \text{ mV} \\ V_{IH} &= 1.81 \pm 0.02 \text{ V} \\ V_{IL} &= 772 \pm 8 \text{ mV} \end{aligned}$$

Sempre con i cursori abbiamo misurato  $V_{OH,\min}$  dato che il valore minimo per lo stato alto dell'uscita risultava più basso di quanto misurato prima; di conseguenza abbiamo spostato il cursore nel punto in cui la tensione in uscita cambia in maniera più repentina: Successivamente si sono utilizzati gli altri valori presi in precedenza per completare le misure. Per il primo integrato:

$$\begin{aligned} V_{OH,\min} &= 2.53 \pm 0.03 \text{ V} \\ V_{IH,\min} &= 2.10 \pm 0.02 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{IL,\max} &= 979 \pm 9 \text{ mV} \\ V_{OL,\max} &= 632 \pm 4 \text{ mV} \end{aligned}$$

mentre per il secondo:

$$\begin{aligned} V_{OH,\min} &= 2.40 \pm 0.03 \text{ V} \\ V_{IH,\min} &= 1.81 \pm 0.02 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{IL,\max} &= 772 \pm 8 \text{ mV} \\ V_{OL,\max} &= 341 \pm 3 \text{ mV} \end{aligned}$$

Da cui troviamo le nostre stime dei valori delle soglie di rumore (Noise Margin High e Low) per le porte NOT studiate, definite come

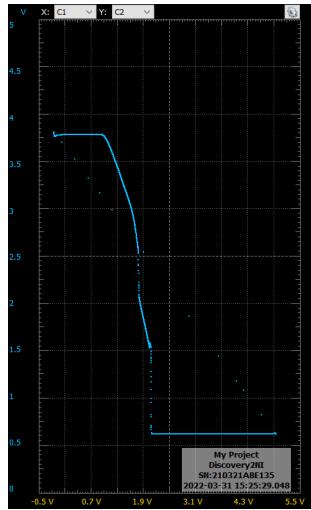


Figura 3: Grafico XY di  $V_{out}$  in funzione di  $V_{in}$

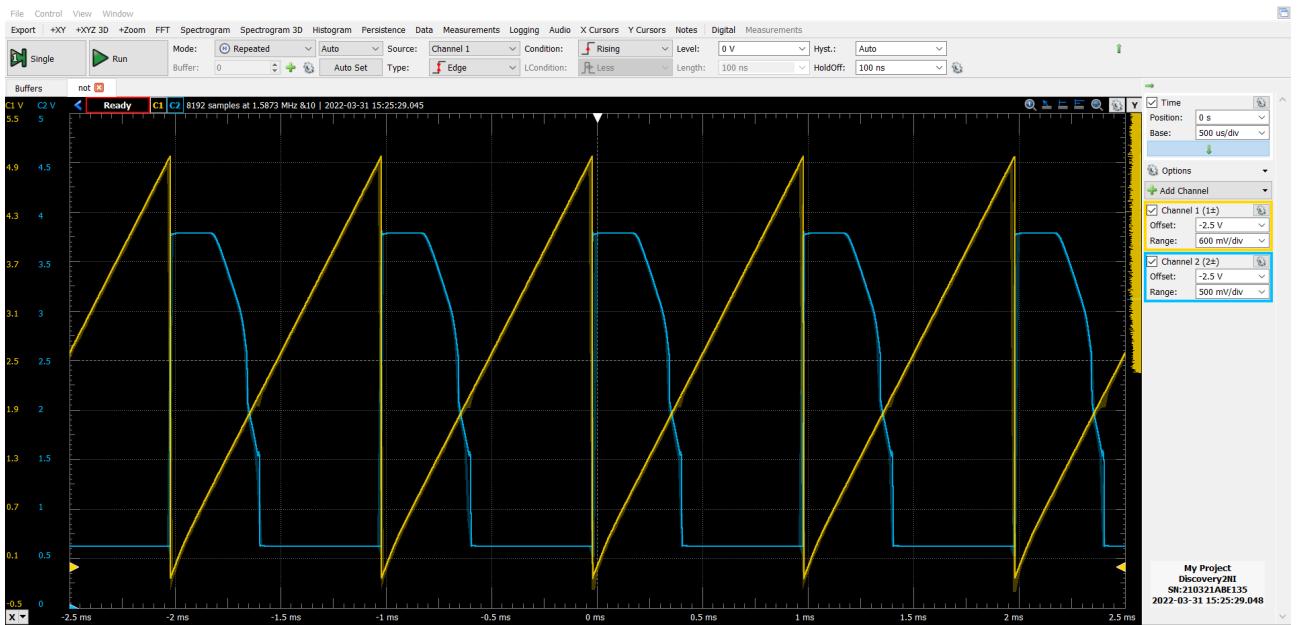


Figura 4: Grafico in funzione del tempo di  $V_{in}$  (in giallo, una rampa da 0 a 5 V di frequenza pari a 1 kHz) e  $V_{out}$  (in blu)

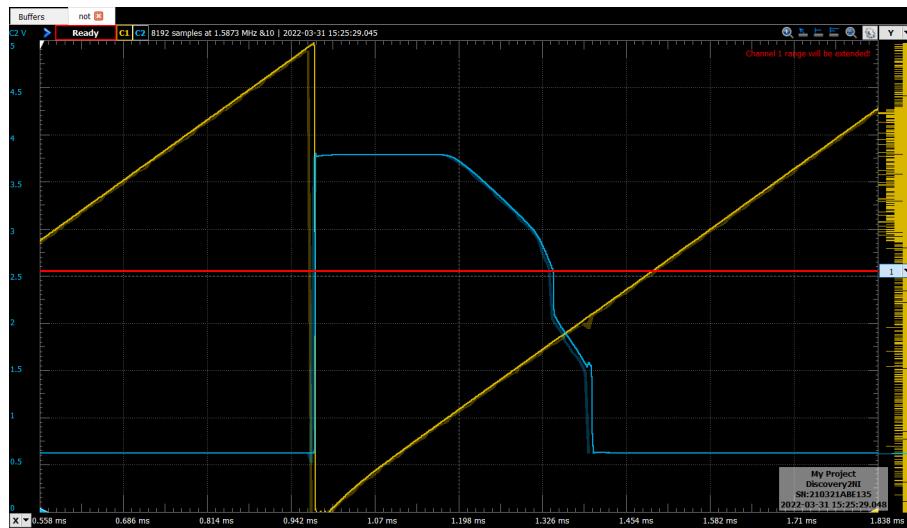


Figura 5: Schema di come è stata presa la misura di  $V_{OH,min}$  tramite l'utilizzo dei cursori: è stato scelto come valore minimo la tensione dell'uscita subito prima del primo cambio repentino.

$$NM_H = V_{OH,min} - V_{IH,min} = (0.43 \pm 0.04) \text{ V} \\ = (0.60 \pm 0.03) \text{ V}$$

$$NM_L = V_{IL,max} - V_{OL,max} = (0.35 \pm 0.02) \text{ V} \\ = (0.43 \pm 0.02) \text{ V}$$

### 1.b Valori attesi per le soglie di rumore

Estrapolando i corrispettivi valori dal datasheet, e assumendo che ogni porta logica abbia i medesimi parametri delle altre presenti nello stesso integrato possiamo allora ricavare i valori attesi dei Noise Margin High e Low:

$$NM_H = 2.4 - 2 = 0.4 \text{ V} \\ NM_L = 0.8 - 0.4 = 0.4 \text{ V}$$

### 1.c Confronto dei risultati

Le nostre misure risultano compatibili con le aspettative entro gli intervalli ammessi dal datasheet per il buon funzionamento del componente, dunque anche le grandezze derivate risultano in accordo con le aspettative.

## 2 Misura (statica) del Fan-out

Chiamiamo Fan-Out il massimo numero di porte che una singola porta è in grado di pilotare rimanendo entro le specifiche di funzionamento del datasheet, lo si è definito come

$$FO = \left| \frac{I_{IH,max}}{I_{OH,max}} \right|$$

### 2.a Misura della corrente in ingresso alla porta NOT nello stato alto

Misuriamo la corrente  $I_{IH,max}$  per entrambi gli integrati collegando l'amperometro in serie tra l'ingresso della porta logica e l'uscita del canale WaveGen1 dell'AD2, quindi generando in questo canale una tensione continua di livello alto pari a 5 V, da cui si trova

$$I_{IH,1} = 16 \pm 1 \mu\text{A} \\ I_{IH,2} = 10 \pm 1 \mu\text{A}$$

Che risultano essere compatibili entro i limiti del datasheet.

### 2.b Misura della corrente in uscita dalla porta NOT per VOH tipico

Successivamente abbiamo inviato all'ingresso della porta un segnale DC a 0 V (sempre utilizzando il canale WG1) e abbiamo inserito un potenziometro da 10 kΩ in serie all'uscita di questa per misurare la corrente che scorre attraverso questa “resistenza di carico” regolabile in modo da avere quando una tensione in uscita dalla porta corrispondente al valore tipico di  $V_{OH} = 3.40 \pm 0.03$  V.

$$I_{OH,1} = 495 \pm 4 \mu\text{A} \\ I_{OH,2} = 315 \pm 3 \mu\text{A}$$

### 2.c Misura della corrente in uscita dalla porta NOT per diversi valori di VOH

A questo punto per completare le misure abbiamo variato il potenziometro in modo che la tensione  $V_{OH}$  diventasse approssimativamente pari a  $V_{OH,min}$  e  $V_{OH,sat}$  misurati precedentemente. Abbiamo quindi ripetuto la misura di  $I_{OH}$  per entrambi gli integrati:

$$V_{OH,sat} = 3.78 \pm 0.03 \text{ V}$$

$$I_{OH,1} = 453 \pm 4 \mu\text{A} \\ I_{OH,2} = 275 \pm 2 \mu\text{A}$$

$$V_{OH,min} = 2.50 \pm 0.02 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} I_{OH,1} &= 782 \pm 6 \mu\text{A} \\ I_{OH,2} &= 552 \pm 5 \mu\text{A} \end{aligned}$$

## 2.d Misura indiretta del fan-out

Dalle misure di corrente sui due integrati ricaviamo finalmente che:

$$\begin{aligned} FO_1 &= 31 \pm 2 \\ FO_2 &= 32 \pm 3 \end{aligned}$$

Mentre usando le correnti misurate per gli altri valori di  $V_{OH}$ :

$$\begin{aligned} FO_{1,V=3.78V} &= 28 \pm 2 \\ FO_{2,V=3.78V} &= 28 \pm 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FO_{1,V=2.50V} &= 49 \pm 3 \\ FO_{2,V=2.50V} &= 55 \pm 6 \end{aligned}$$

## 2.e Valore del fan-out atteso e confronto

Dalle specifiche del DS elencate sopra in 2 risulta che

$$\begin{aligned} I_{IH,max} &= -0.4 \text{ mA} \\ I_{OH,max} &= 40 \mu\text{A} \\ FO &= 10 \end{aligned}$$

I valori da noi trovati risultano sensibilmente più alti delle aspettative e non compatibili con queste, ma perlomeno rimangono compatibili tra di loro.

## 3 Tempi di propagazione

Vogliamo ora misurare i tempi di propagazione della porta logica NOT osservando (tramite un oscilloscopio da banco) l'andamento nel tempo dei segnali nei pin di ingresso uscita della porta durante le transizioni di stato per poi paragonarli ai valori riportati sul datasheet in analogia a quanto fatto finora.

### 3.a Definizione e valori attesi dei tempi di propagazione

Dal datasheet TI fornito le misure di tempi di propagazione per la commutazione dell'uscita tra gli stati alto->basso  $t_{PHL}$  e basso->alto  $t_{PLH}$  sono definite come l'intervallo di tempo tra il passaggio della forma d'onda in ingresso e di quella in uscita dal livello di tensione iniziale al punto medio tra lo stato iniziale e finale, secondo lo schema in

Prendiamo quindi come definizione di tempo di propagazione il lasso di tempo che trascorre tra quando  $V_{in}$  diventa pari a  $V_{I,med}$  e  $V_{out}$  diventa pari al suo  $V_{O,med}$ , dove i valori medi tra stato basso e stato alto rispettivamente per l'ingresso e per l'uscita sono definiti intuitivamente dalle formule

$$\begin{aligned} V_{O,med} &= \frac{V_{OH} + V_{OL}}{2} \\ V_{I,med} &= \frac{V_{IH} + V_{IL}}{2} \end{aligned}$$

Dal datasheet si ricavano come tempi di propagazione attesi:

$$\begin{aligned} t_{PHL,max} &= 22 \text{ ns} \\ t_{PLH,max} &= 15 \text{ ns} \end{aligned}$$

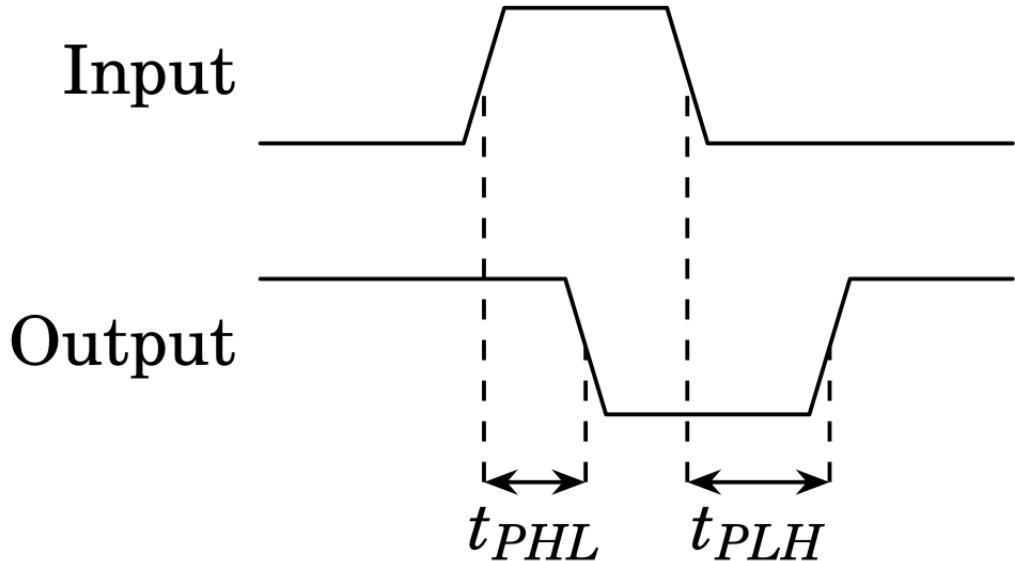


Figura 6: Diagramma dei tempi di propagazione per una porta NOT

### 3.b Misura dei tempi con l'oscilloscopio

Come visto anche nella sezione 1, inviando in ingresso un'onda quadra compresa tra 0 e 5 V, all'uscita della porta troviamo la stessa onda compresa tra  $V_{OH} \approx 3.6$  V e  $V_{OL} \approx 0.3$  V; infatti misurando con i cursori e con l'oscilloscopio troviamo come

$$V_{O,med} = 1.95 \pm 0.02$$

$$V_{I,med} = 2.50 \pm 0.03$$

Quindi, una volta collegati i due canali all'ingresso (CH1) e all'uscita (CH2) del not gate, abbiamo scelto come evento di trigger il passaggio del segnale di ingresso per  $V_{I,med}$ , abbiamo dunque cambiato il fronte tra salita/discesa per scegliere se misurare il tempo di propagazione H->L o L->H.

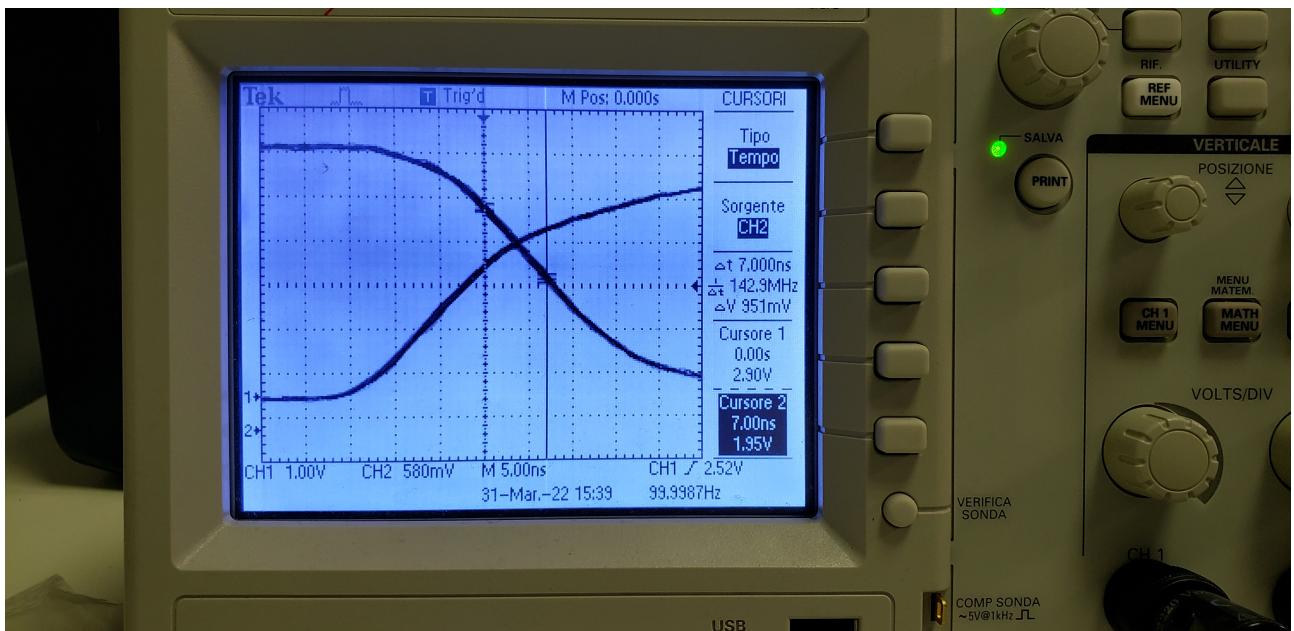


Figura 7: Acquisizione tramite oscilloscopio digitale della transizione da L a H per il primo integrato

Dalla misura fatta con i cursori sull'oscilloscopio si ricava

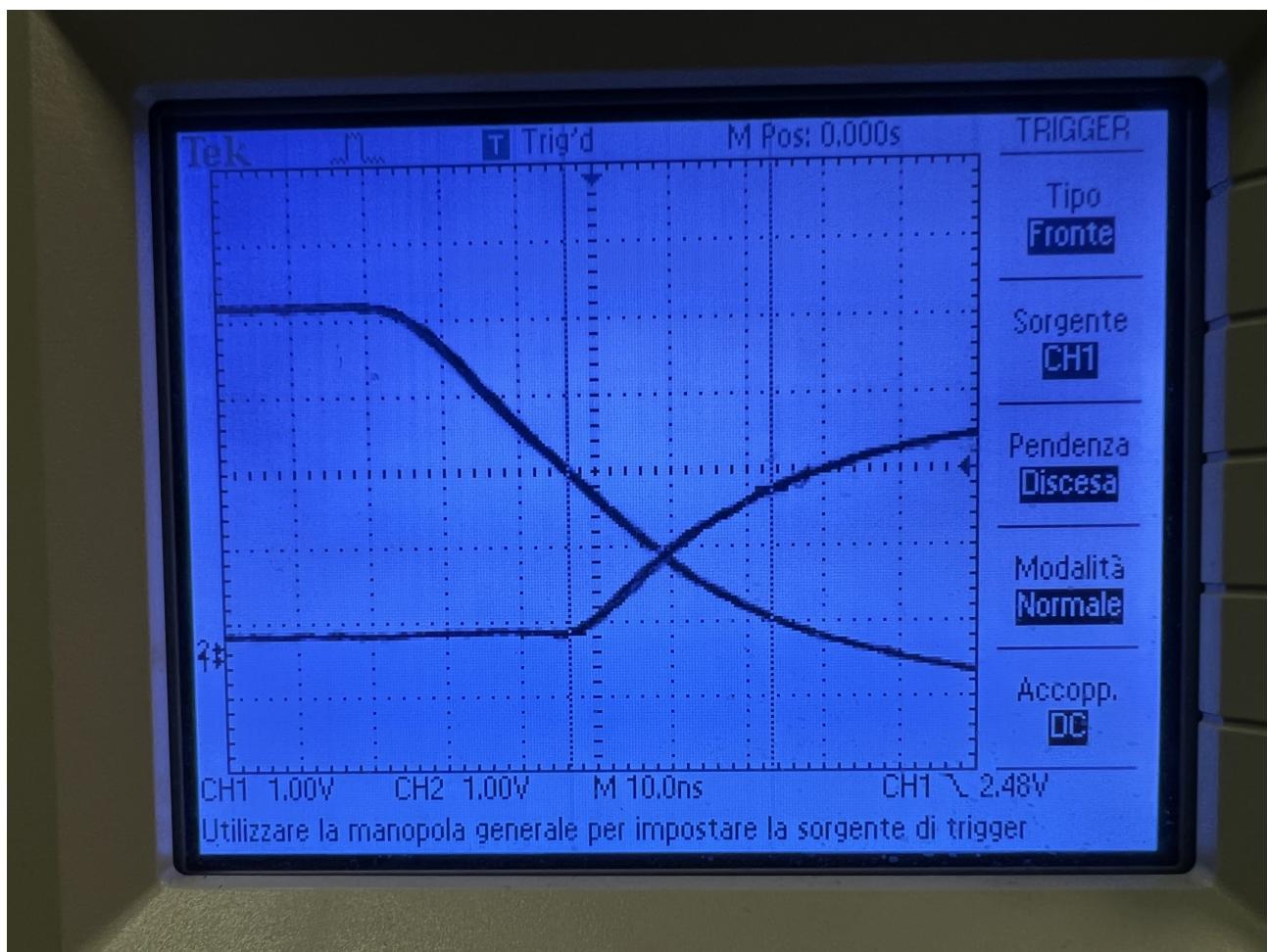


Figura 8: Acquisizione tramite oscilloscopio digitale della transizione da L a H per il secondo integrato

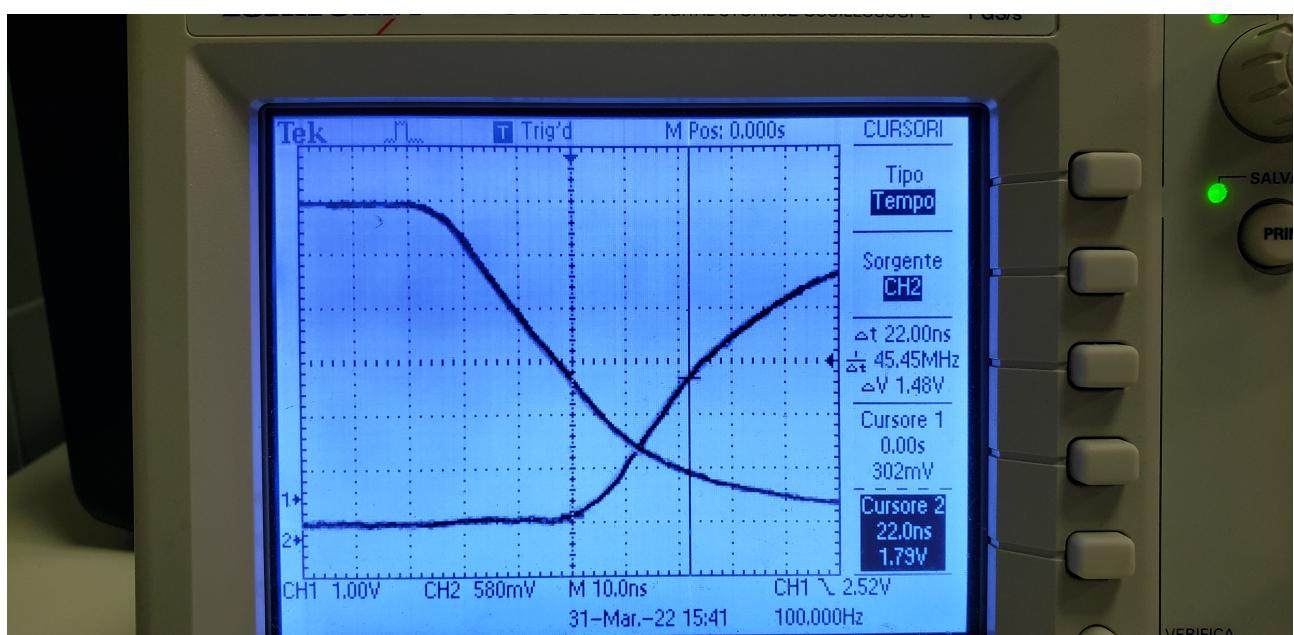


Figura 9: Acquisizione tramite oscilloscopio digitale della transizione da H a L per il primo integrato

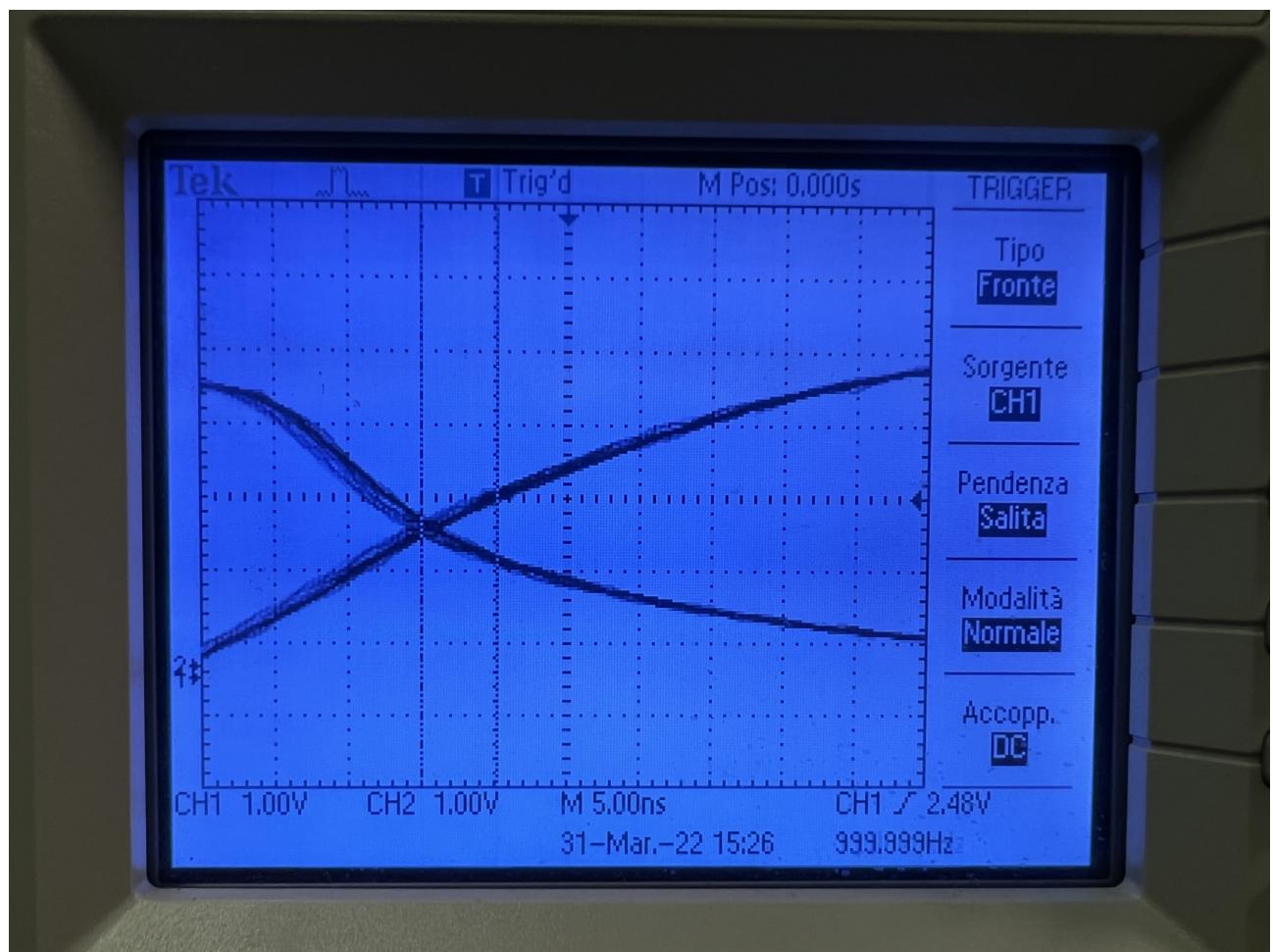


Figura 10: Acquisizione tramite oscilloscopio digitale della transizione da H a L per il secondo integrato

$$t_{PLH} = 5.2 \pm 0.2 \text{ ns}$$

$$t_{PHL} = 25.0 \pm 0.2 \text{ ns}$$

$$t_{PLH} = 7.0 \pm 0.2 \text{ ns}$$

$$t_{PHL} = 22.0 \pm 0.2 \text{ ns}$$

### 3.c Confronto con i valori attesi

Dobbiamo però constatare la presenza di capacità parassite presenti all'interno del circuito: aumentando la scala dei tempi ci accorgiamo che i grafici prodotti dall'oscilloscopio sono qualitativamente simili alle curve di carica e scarica del condensatore (figura fig. 11); per questo motivo andando a misurare il tempo di propagazione della porta abbiamo misurato un tempo di propagazione  $t_{PHL}$  del primo integrato più alto rispetto a quello aspettato. Presa considerazione di ciò, non è stato possibile riprendere la misura in condizioni in cui la capacità parassita fosse inferiore, e nel migliore dei casi abbiamo ottenuto sempre  $t_{PHL} = 25.0 \pm 0.2 \text{ ns}$ . Possiamo però

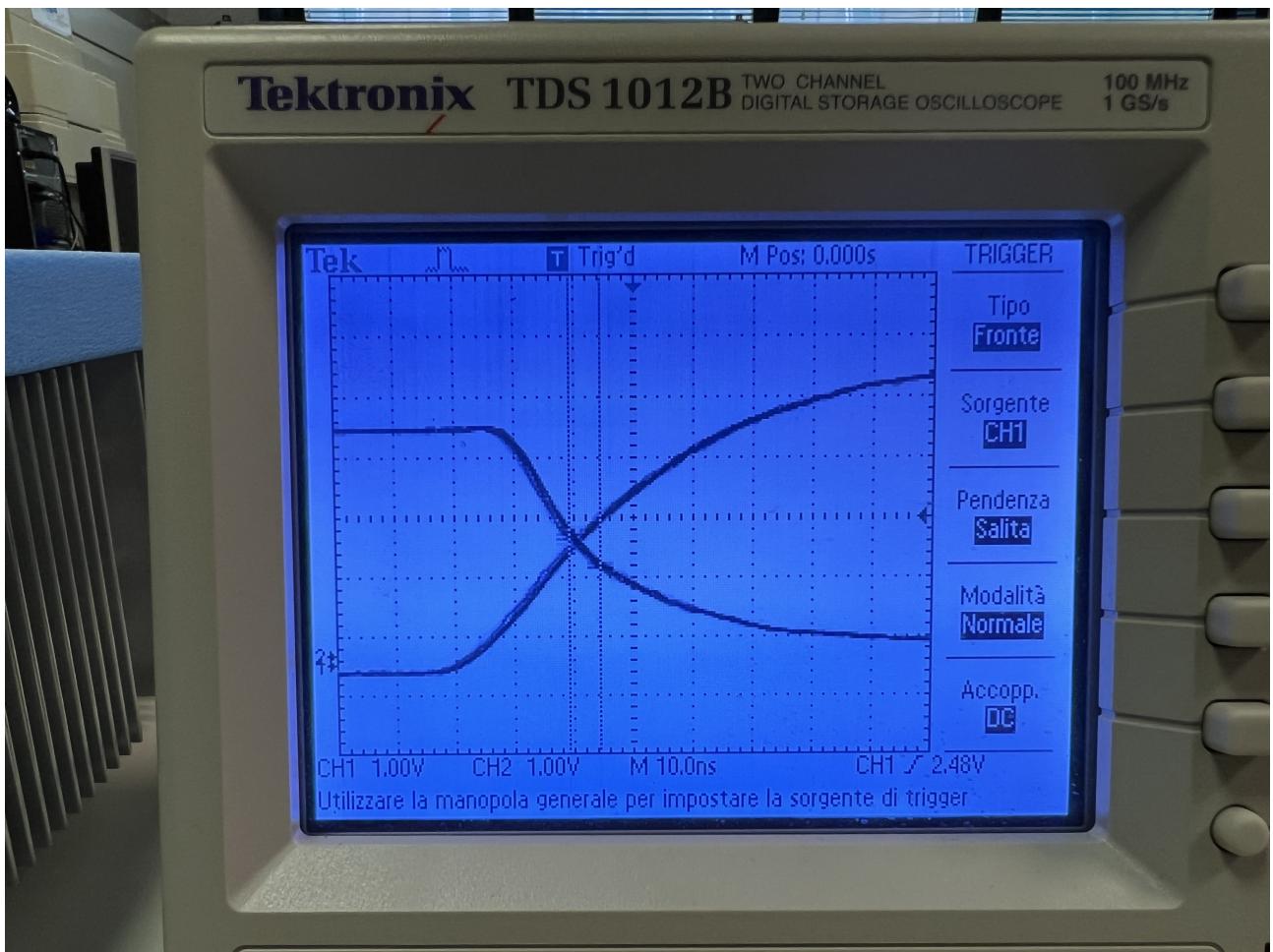


Figura 11: Acquisizione con oscilloscopio digitale con un fondo scala dei tempi più grande, in modo da osservare qualitativamente come la propagazione del segnale assomigli molto al grafico della tensione ai capi di un condensatore durante il ciclo di carica/scarica

concludere che le misure sono compatibili con quanto dichiarato nel datasheet con uno scarto del 14 %.

## Parte B: Circuiti logici elementari con sole porte NAND

La caratteristica più fondamentale delle porte NAND è la loro universalità, infatti è possibile realizzare qualsiasi tipo di circuito logico tramite combinazione di sole porte NAND (o NOR). In questa parte intendiamo costruire e verificare il funzionamento di circuiti equivalenti a porte OR, XOR e multiplexer a partire da soli chip NAND SN74LS00.

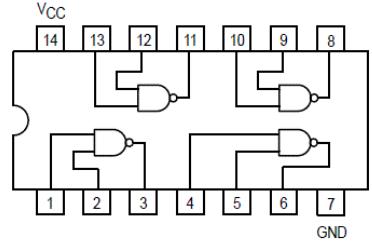


Figura 12: Schema circuitale del circuito integrato SN74LS00

### 3.d Verifica del funzionamento con Logic Analyzer

Vogliamo quindi verificare che la porta NAND funziona come aspettato: utilizzeremo quindi la funzione StaticIO per inviare al DIO0 e DIO1 due segnali di tipo switch, i quali sono collegati direttamente uno per ogni ingresso della porta NAND sotto osservazione; utilizzeremo poi DIO2 in modalità LED per misurare l'uscita della porta. Definiamo dentro lo strumento Patterns (generator) di WaveForms 2 segnali di clock rispettivamente a 100 Hz

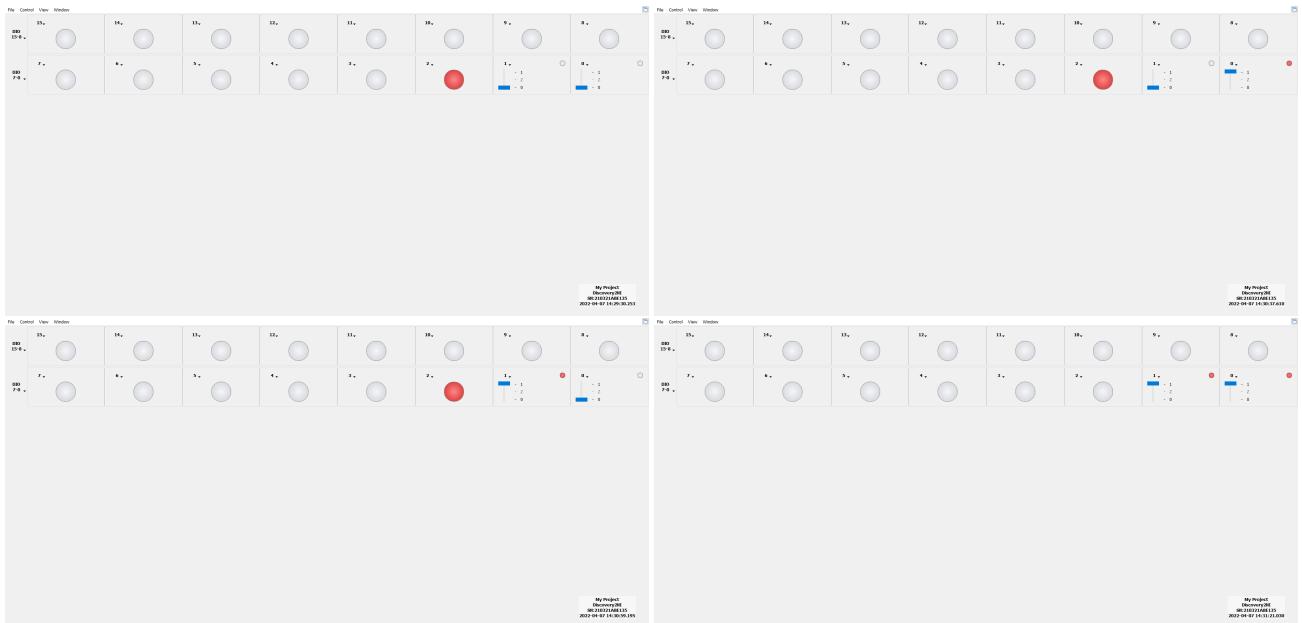


Figura 13: Acquisizione tramite StaticIO delle possibili configurazioni della porta NAND, in funzione dei valori di input

(in uscita dalla porta DIO0) e l'altro a 200 Hz (in uscita dalla porta DIO1) in modo che la loro combinazione producesse tutte le coppie di valori possibili ottenibili con 2 bit. Dunque si sono pilotati i due ingressi di una stessa porta nand utilizzando i segnali generati, inviandone uno ad ogni entrata. Si è usato lo strumento Logic (Analyzer) per acquisire gli andamenti nel tempo dei due segnali in entrata e di quello in uscita: Il circuito risulta essere funzionante e l'output risulta essere L se e solo se i pin 1 e 2 valgono entrambi H, proprio come da aspettative.

## 4 Costruzione di circuiti con porte NAND

### 4.a Porta OR

Come primo circuito costruiamo una porta OR: detti  $A$  e  $B$  gli ingressi e  $Y$  l'uscita, nella notazione dell'algebra booleana si ha

$$Y = A + B$$

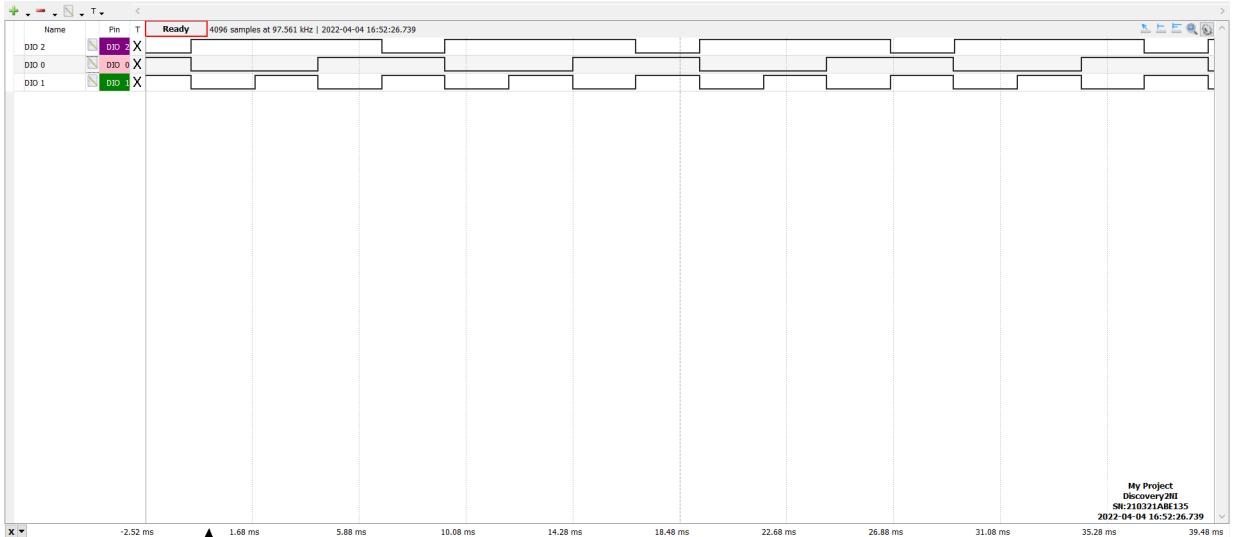


Figura 14: Acquisizione di Logic di una porta nand guidata da due segnali da DIO0 (100 Hz) e DIO1 (200 Hz); in uscita viene letto da DIO2

Sfruttando la legge di De Morgan si ottiene

$$Y = A + B = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$$

che descrive la relazione OR in termini del NAND.

Nota la relazione per ottenere un NOT utilizzando porte NAND, riportiamo lo schema del circuito

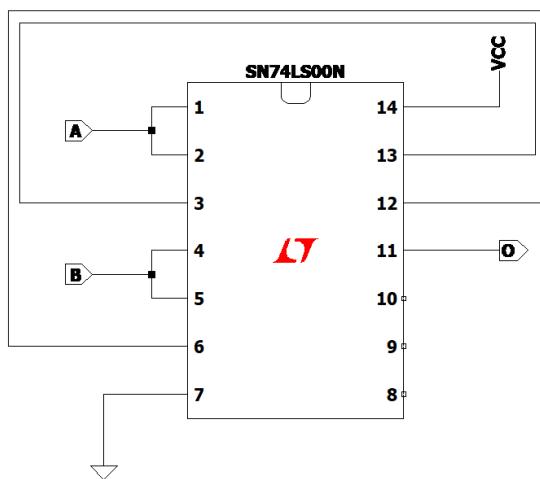


Figura 15: Schema circuitale utilizzato per costruire un OR GATE: A e B sono i segnali di input, mentre O è l'output

Utilizzando le funzioni pattern e logic abbiamo inviato tramite i pin DIO0 e DIO1 2 segnali di clock di frequenza 50 e 100 Hz e abbiamo utilizzato la porta DIO2 per verificare l'output del circuito Si vede quindi che il circuito ha il funzionamento aspettato con l'output L se e solo se i due input sono entrambi L.

#### 4.b Circuito selettore a due vie (multiplexer)

Realizziamo un circuito che permetta di assegnare all'uscita il valore di uno dei due ingressi a singolo bit tramite il valore di un terzo ingresso. Indichiamo con  $A$ ,  $B$  e  $C$  gli ingressi e con  $Y$  l'uscita;

$$\begin{cases} C = 0 \implies Y = A \\ C = 1 \implies Y = B \end{cases}$$

il funzionamento del nostro circuito può essere descritto dalla tabella di Karnaugh riportata sotto

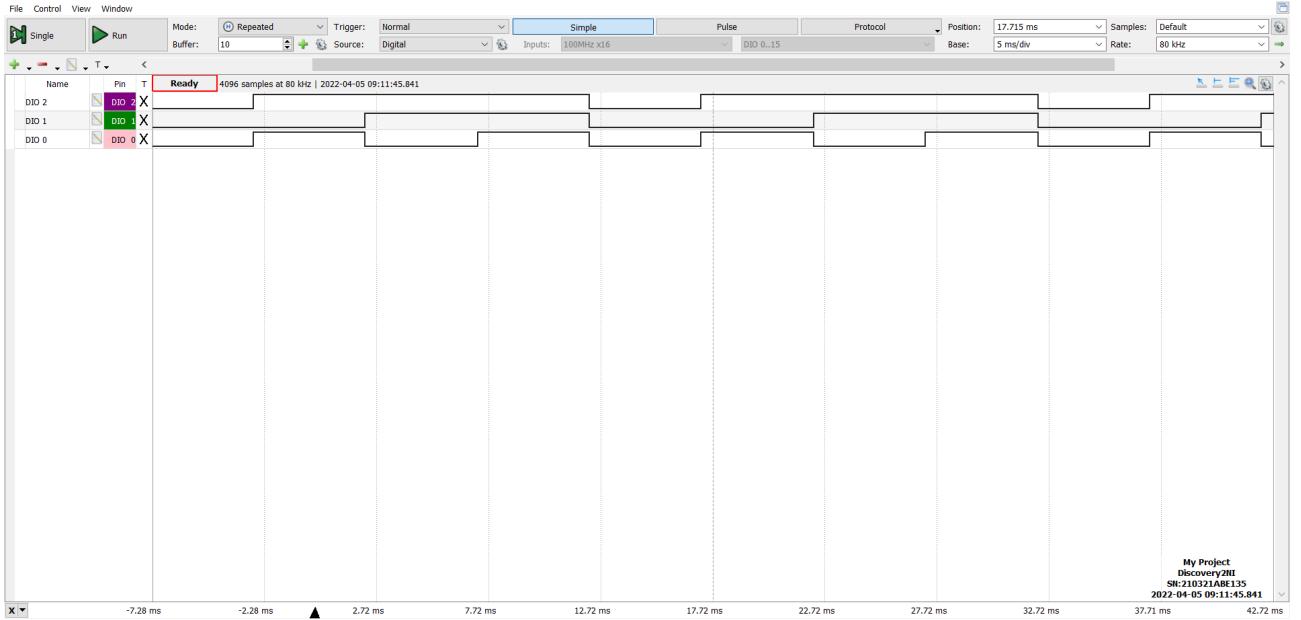


Figura 16: Acquisizione Logic per il circuito OR costruito tramite NAND: DIO0 e DIO1 sono i segnali in input, DIO2 è l'output

	AB	00	01	11	10
C	0	0	0	1	1
	1	0	1	1	0

da cui si ricava facilmente la seguente relazione per il circuito

$$Y = A \cdot \bar{C} + B \cdot C$$

e, sempre sfruttando De Morgan, si ha

$$Y = A \cdot \bar{C} + B \cdot C = (\overline{A \cdot \bar{C}}) \cdot (\overline{B \cdot C})$$

Riportiamo sotto lo schema del circuito

Per dimostrare il corretto funzionamento del circuito riportiamo le acquisizioni di Pattern, in cui è possibile comprendere come sono stati impostati gli ingressi, e Logic, da cui si può verificare il corretto funzionamento del circuito. Abbiamo inviato al circuito tramite la funzione pattern un segnale di clock a 100 Hz a B, uno a 50 Hz a A e infine uno a 25 Hz a C. Si ricava quindi che il circuito funziona come da aspettativa, restituendo il segnale di A nel caso in cui C=0 e il segnale B quando C=1.

#### 4.c Porta XOR

Un circuito XOR si può realizzare con 4 porte NAND partendo dalla sua equazione caratteristica e manipolandola con le leggi di De Morgan:

$$\begin{aligned} A \oplus B &= (A \cdot \bar{B}) + (\bar{A} \cdot B) = (A \cdot \bar{A} + A \cdot \bar{B}) + (B \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B) \\ &= A \cdot (\bar{A} + \bar{B}) + B \cdot (\bar{B} + \bar{A}) = A \cdot \overline{(A \cdot B)} + B \cdot \overline{(B \cdot A)} \end{aligned}$$

Se ne deduce che il circuito ha il funzionamento aspettato e che quindi l'output risulta essere L se e solo se entrambi gli input A e B hanno lo stesso valore.

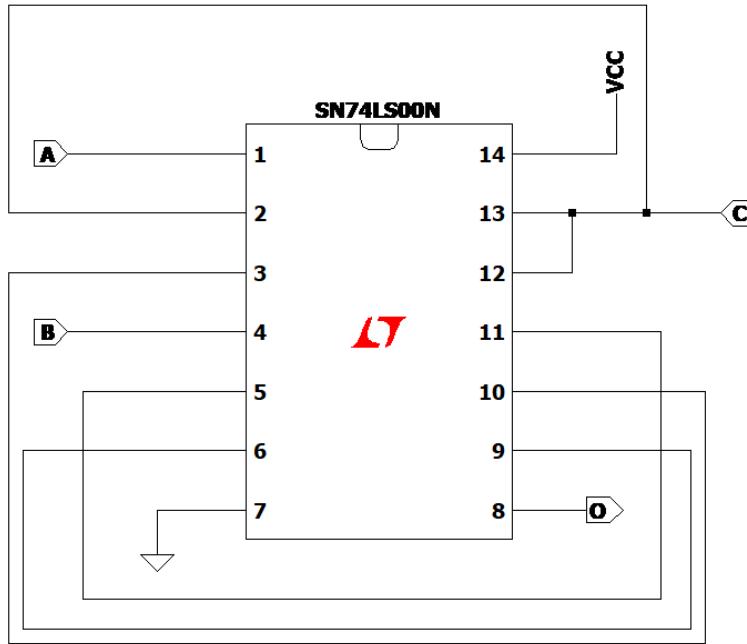


Figura 17: Schema circuitale per costruire un multiplexer a 2 input, controllato dal valore logico C

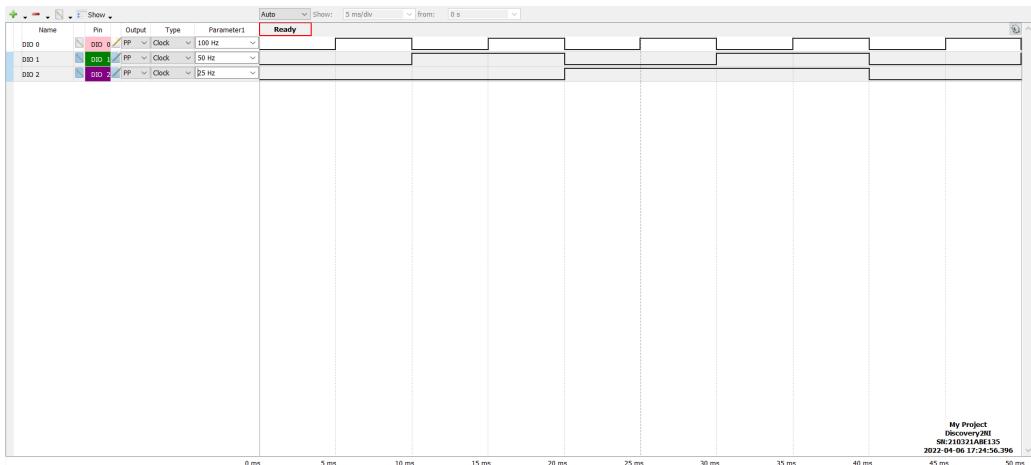


Figura 18: Pattern multiplexer: DIO 0 ≡ B, DIO 1 ≡ A, DIO 2 ≡ C

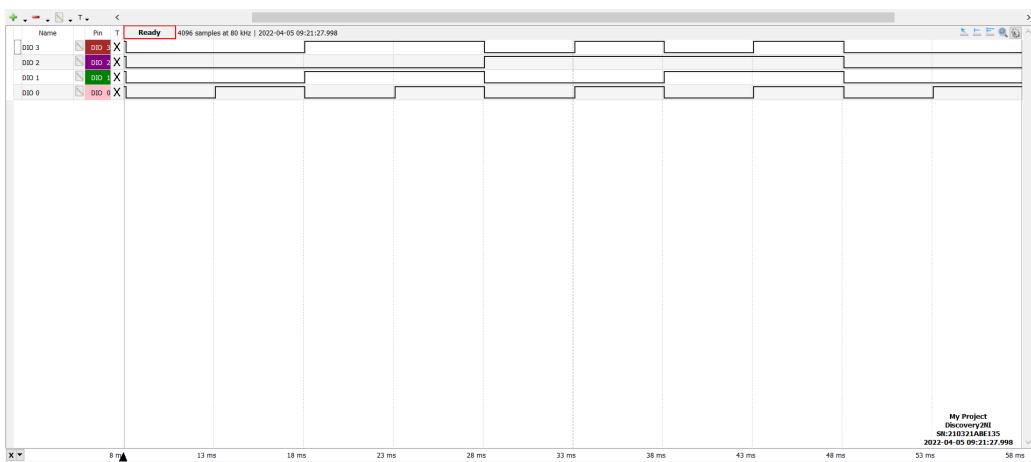


Figura 19: Logic multiplexer: DIO 0 ≡ B, DIO 1 ≡ A, DIO 2 ≡ C, DIO 3 ≡ Y

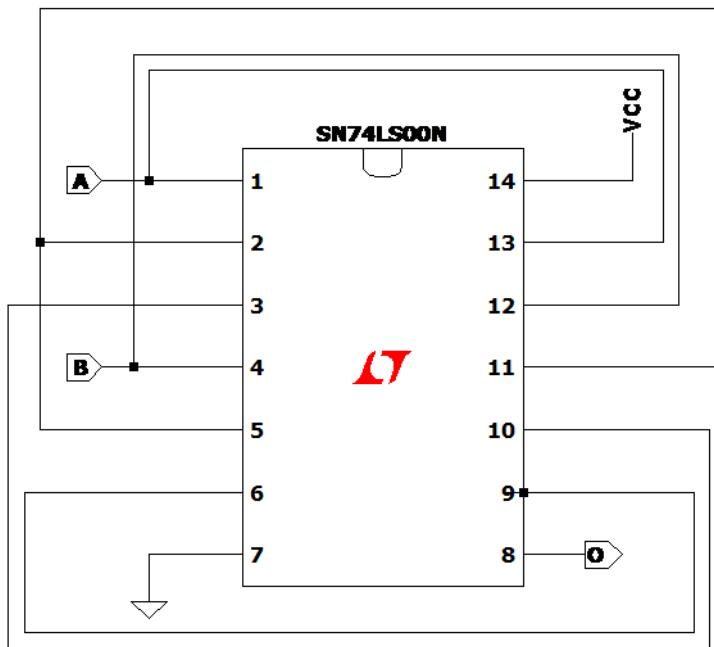


Figura 20: Schema circuitale utilizzato per costruire uno XOR GATE tramite NAND

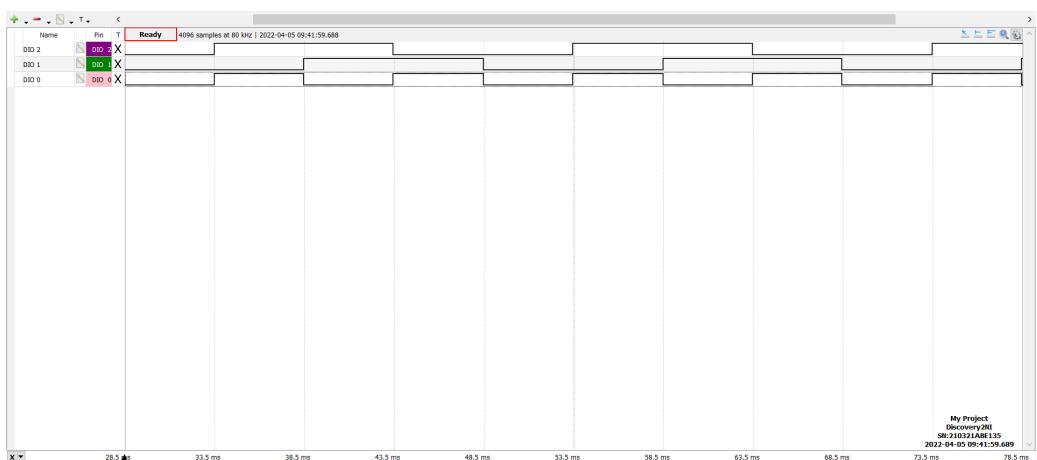


Figura 21: Acquisizione Logic della Porta XOR: DIO0 e DIO1 sono i segnali di input, DIO2 è l'uscita dallo XOR

## Parte C: Circuiti logici complessi a più chip

### 6 Convertitore Gray-Binario

Come ultima cosa vogliamo realizzare un circuito in grado di convertire un valore a 4 bit dalla codifica Gray in Binario utilizzando un solo integrato di tipo SN74LS86 a porte XOR, descritto nella figura a lato.

Un convertitore Gray-Binario può essere schematizzato come in Figura (23): il nostro obiettivo è quello di verificare che tale circuito si comporti come atteso.

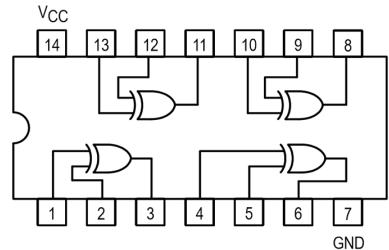


Figura 22: Schema circuitale dell'integrato SN74LS86

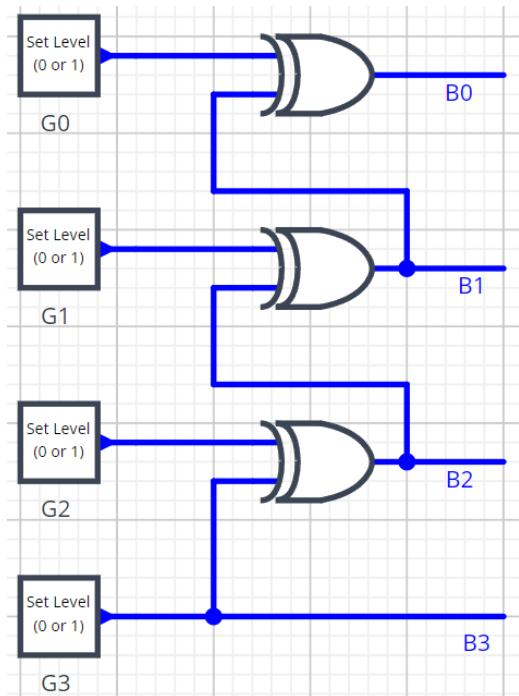


Figura 23: Schema convertitore Gray-Binario

Codice binario	Codice Gray
0000	0000
0001	0001
0010	0011
0011	0010
0100	0110
0101	0111
0110	0101
0111	0100
1000	1100
1001	1101
1010	1111
1011	1110
1100	1010
1101	1011
1110	1001
1111	1000

Tabella 3: Conteggio a 4 bit nei due codici.

Il codice Gray differisce dal codice binario in quanto si passa da un intero al successivo modificando un solo

bit per volta.

Calcoliamo l'uscita del circuito per alcuni valori in ingresso:

$G_3$	$G_2$	$G_1$	$G_0$	$B_3$	$B_2$	$B_1$	$B_0$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	1

Confrontando le uscite ottenute con i valori riportati in tabella 3 affermiamo che il circuito si comporta correttamente come convertitore Gray-Binario. Come conferma, riportiamo un'acquisizione.

Per una scala dei tempi molto stretta, abbiamo triggerato quando il MSB del bus a codice Gray cade da H

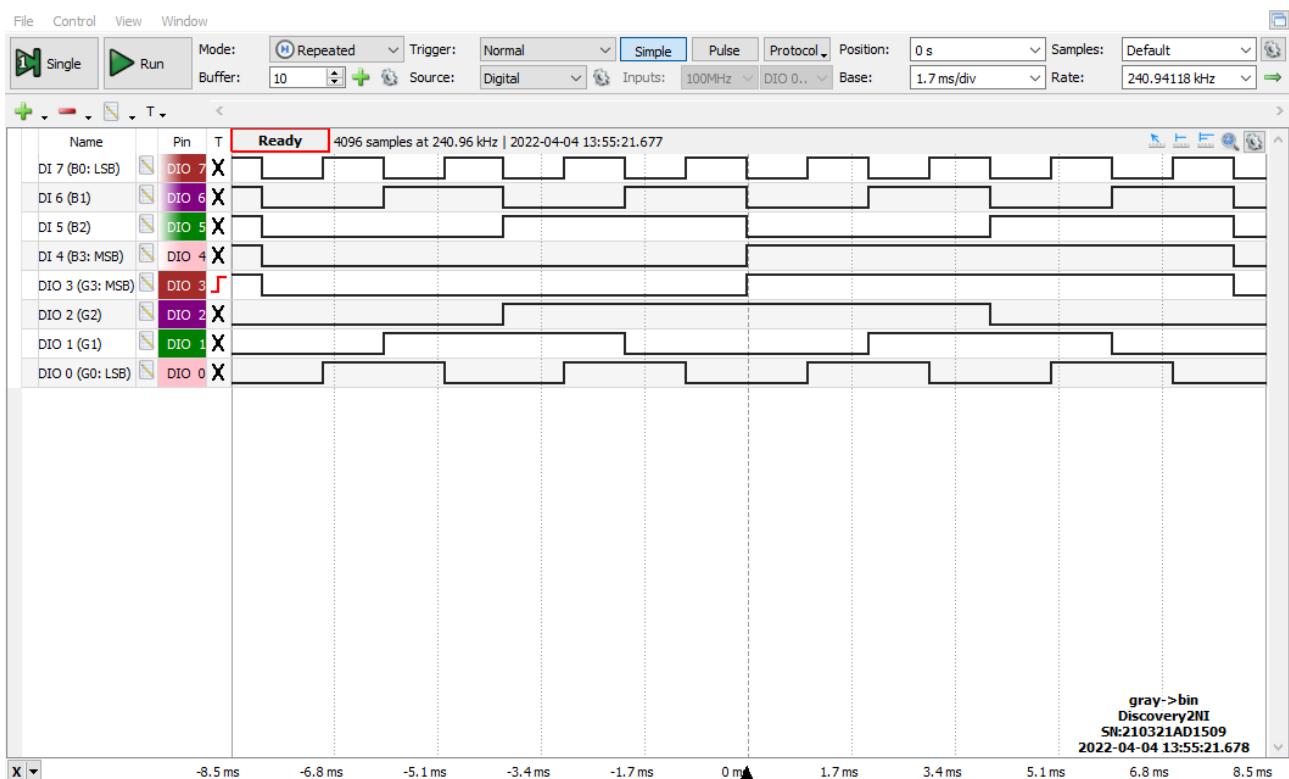


Figura 24: Acquisizione di un ciclo completo (frequenza 1 kHz) con Logic Analyzer dei segnali in ingresso e in uscita dal convertitore Gray-binario.

a L: in questo modo riusciamo a osservare la transizione da 15 a 1 (1000 in Gray equivale a 1111 in binario) e a vedere come si comporta la propagazione del segnale. Dalla figura fig. 26 notiamo che anche se il bit 3 del segnale Gray e il bit 3 del codice binario sono direttamente collegati tra loro (senza nessuna porta logica nel mezzo), quest'ultimo percepisce un ritardo pari a circa la risoluzione temporale dell'AD2 (che risulta essere 10 ns). Inoltre i successivi bit del codice binario (2,1 e infine 0) risultano anch'essi ritardati dal bit precedente a quello preso in considerazione perché in mezzo vi si trova una porta logica XOR: andando a controllare sul datasheet il tempo di propagazione per la porta XOR si ricava che nel caso in cui l'altro ingresso sia su uno stato logico basso,  $t_{PHL,typ} = 10$  ns e  $t_{PHL,max} = 17$  ns. Considerando quindi che il ritardo totale (da quando il bit MSB Gray scende a 0, fino a quando il bit LSB Binario scende anch'esso a 0) risulta essere pari 50 ns, possiamo verificare che questo combacia approssimativamente con le aspettative per cui 3 porte XOR inducono un ritardo di  $\approx 30$  ns e il primo bit binario (MSB) subisce anch'esso un ritardo di 10 ns, portando il ritardo atteso approssimativamente a circa 40 ns. Il ritardo "fantasma" misurato con l'AD2 presente dal momento in cui il bit 2 Binario scende a 0 fino a quando anche il bit 1 scende a 0 (indicativamente in figura fig. 26 tra i 20 e i 30 ns) lo si può invece attribuire alla scarsa risoluzione dell'AD2 (che ripetiamo essere 10 ns) e ad una porta logica con un tempo di propagazione particolarmente più elevato rispetto alle altre (in particolare ci aspettiamo sia la porta XOR che in uscita ha il bit B1).

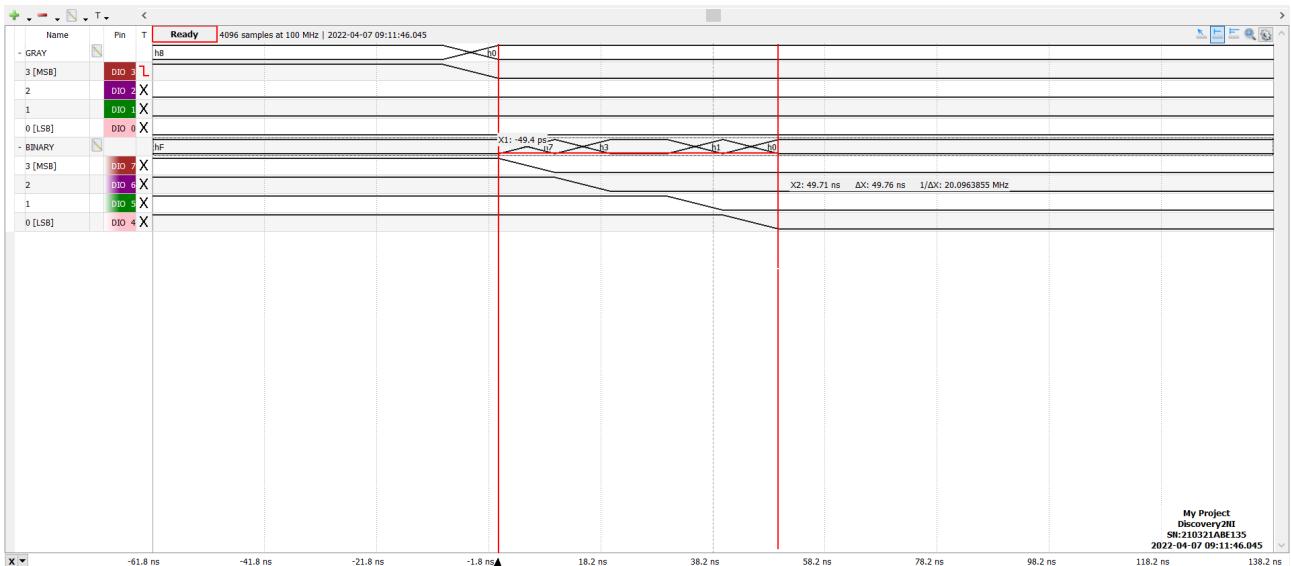


Figura 25: Acquisizione del Logic Analyzer durante la transizione dal numero 15 al numero 0 su scala dei tempi pari a 20 ns.

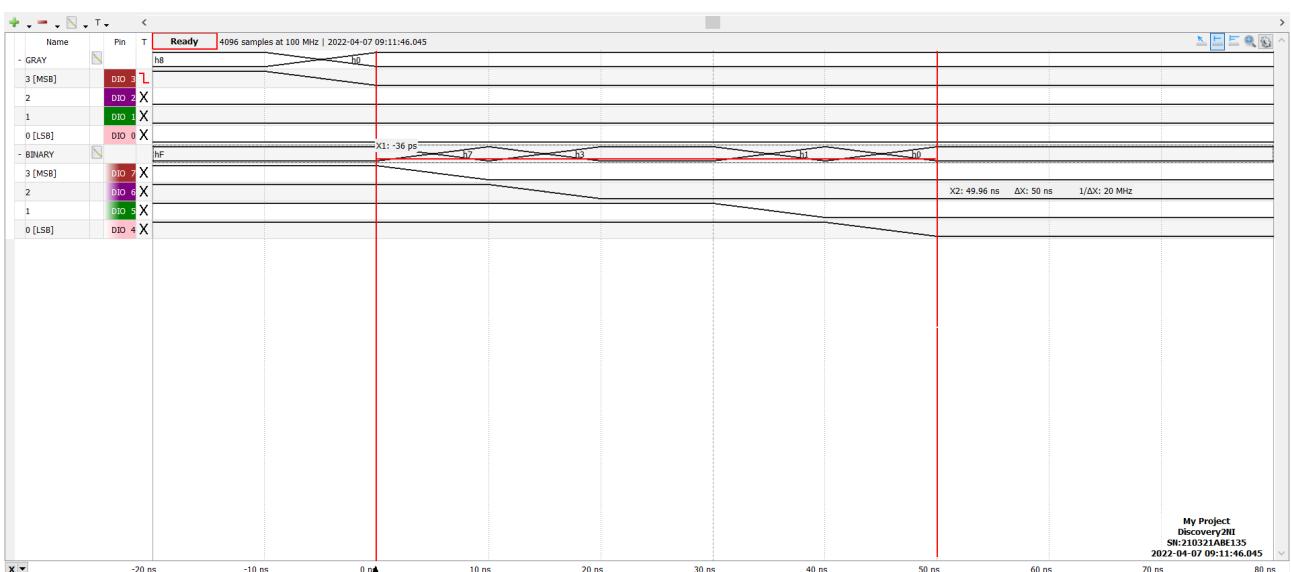


Figura 26: Transizione dal 15 allo 0 su scala temporale pari a 10 ns.

## 7 Sommatore a 2 bit

Vogliamo costruire un sommatore a due bit utilizzando le dovute porte logiche. Utilizzeremo i chip SN74LS08 (quad-AND), SN74LS32 (quad-OR), SN74LS86 (quad-XOR). Il circuito da montare è riportato in fig. 31.

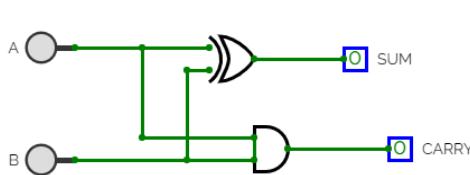


Figura 27: Schema logico di un half adder

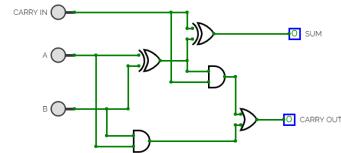


Figura 28: Schema logico di un full adder.

### 7.a Verifica Half Adder e Full Adder

Si vuole quindi verificare il funzionamento dei due circuiti Half Adder e Full Adder schematizzati in figure 27 e 28: per verificare il funzionamento del primo è stato sufficiente generare con pattern un bus contatore a 2 bit che conta in binario e abbiamo inviato i segnali dei due bit uno ad ogni ingresso dell'HA. Per verificare

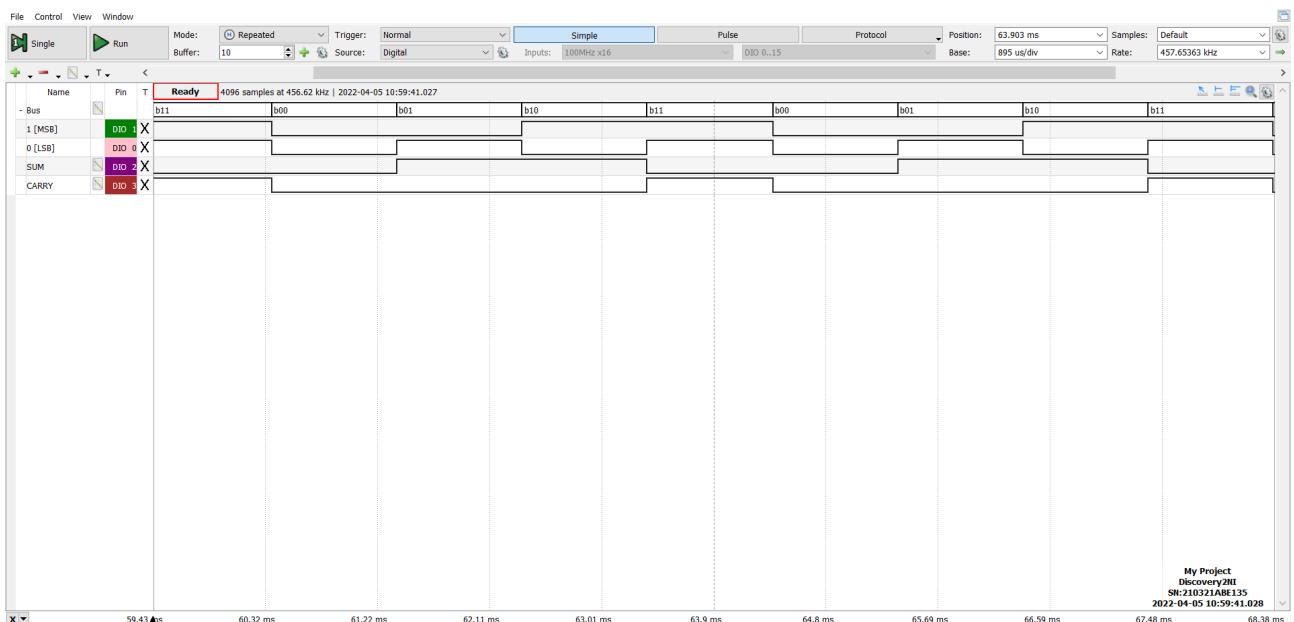


Figura 29: Acquisizione Logic del funzionamento di un half adder

il funzionamento del Full Adder abbiamo generato con pattern un bus contatore (come prima in binario) a 3 bit: 2 di questi (i due bit meno significativi) sono stati utilizzati come ingressi A e B, mentre il MSB è stato utilizzato come bit di CARRY IN. Dai risultati ottenuti con le acquisizioni di Logic si verifica che entrambi i circuiti funzionano come da aspettativa.

### 7.b Sommatore

Abbiamo quindi collegato l'uscita CARRY OUT dell'half adder all'entrata CARRY IN del full adder: così facendo si ottiene un sommatore binario a 2 bit con bit di riporto (che andrà ad indicare un eventuale overflow).

A questo punto si procede con la verifica di funzionamento del circuito; per questo motivo abbiamo generato un Bus contatore a 4 bit che utilizzeremo per inviare numeri in binario in ingresso al sommatore. In particolare i 2 bit meno significativi del bus formeranno il numero A, mentre i restanti saranno B. A questo punto si sono inviati questi 2 numeri alle entrate del sommatore facendo attenzione a inserire nel Half Adder i due bit meno significativi di entrambi i numeri, mentre al Full Adder i due bit più significativi.

Si verifica quindi che il circuito sommatore funziona come atteso.

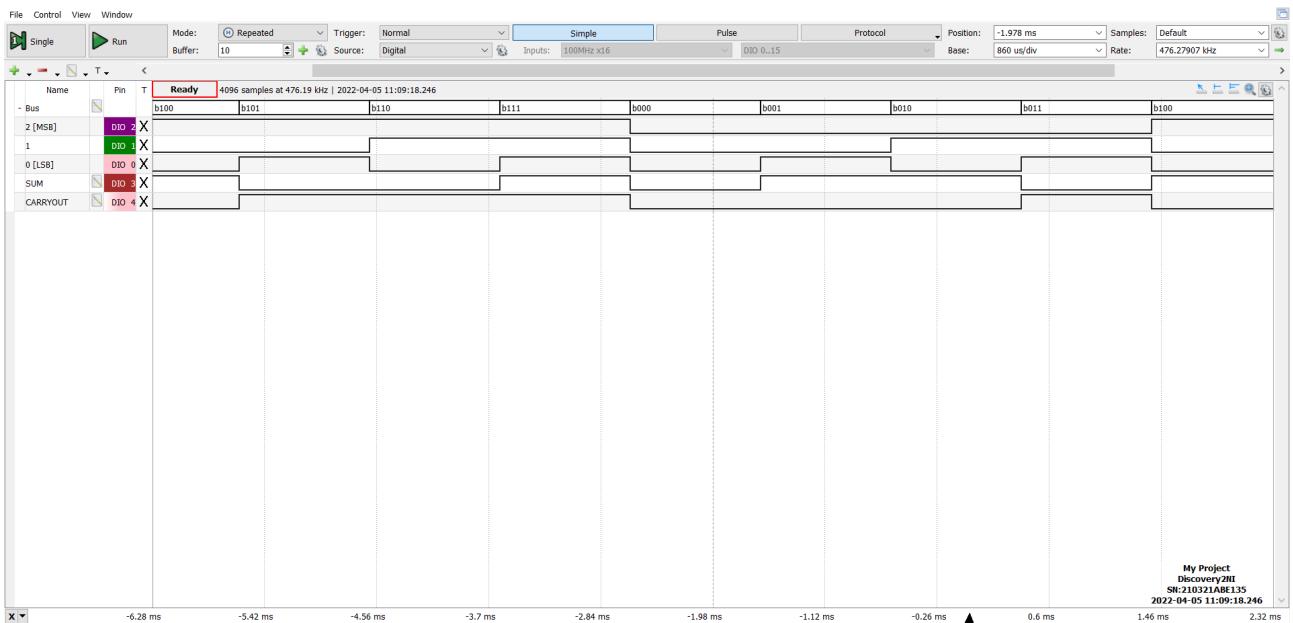


Figura 30: Acquisizione Logic del funzionamento di un full adder

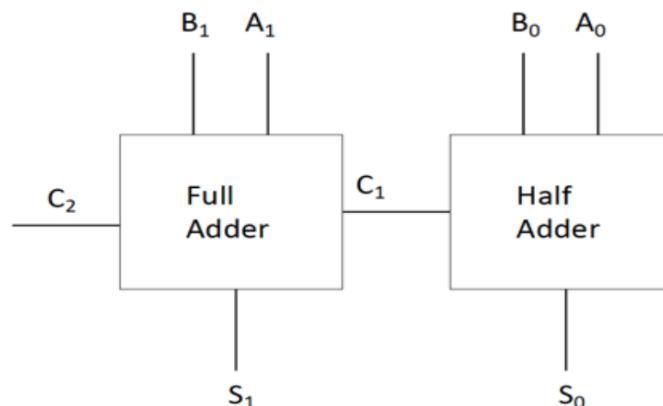


Figura 31: Schema circuitale di un sommatore a 2 bit

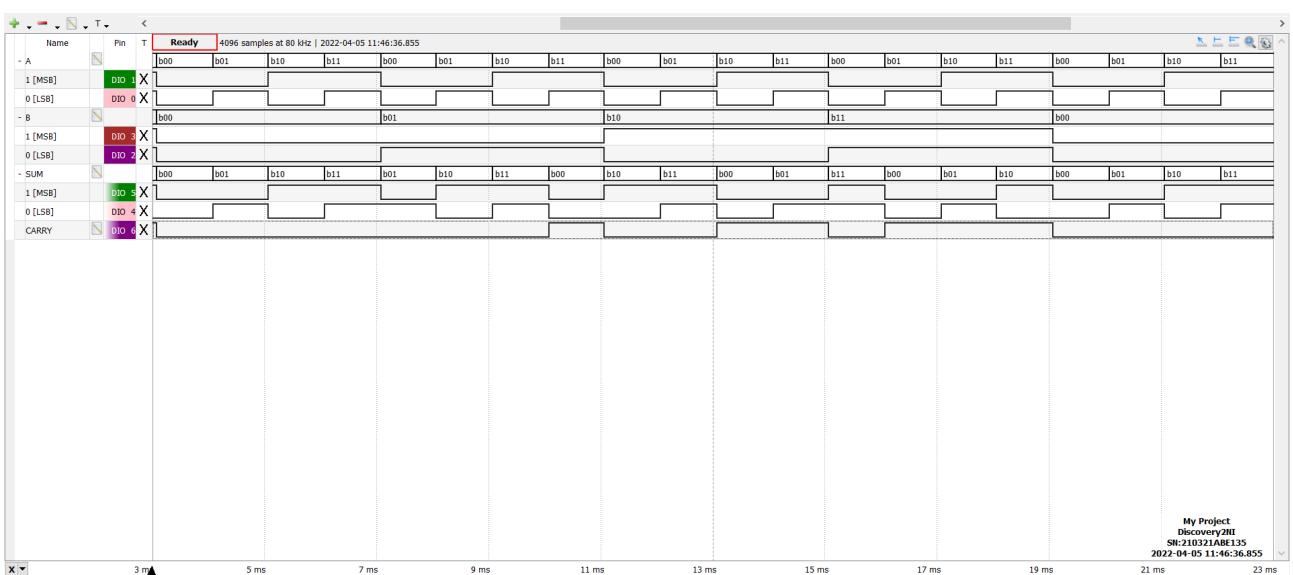


Figura 32: Acquisizione Logic per il sommatore a 2 bit: DIO0 e DIO1 rappresentano il numero A; DIO2 e DIO3 rappresentano B; DIO4, DIO5 e DIO6 rappresentano invece rispettivamente il risultato della somma (con DIO4 il LSB) e il bit di overflow

## 7.c Verifica funzionamento tramite led

Aggiungiamo al circuito 4 led verdi e un led rosso: questi sono pilotati da 5 nuovi cavi dell'AD2. Per controllare il loro funzionamento aggiungiamo a *Patterns* una tabella di verità, riportata in fig. 33, che faccia in modo che ad ogni step si illuminino un numero di led pari al valore della somma. Il led rosso verrà usato per controllare l'overflow, ovvero la possibilità che il risultato sia maggiore o uguale a 4.

	DIO 6	DIO 5	DIO 4	DIO 11	DIO 10	DIO 9	DIO 8	DIO 7
1	1	X	X	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	1
4	0	1	0	0	0	0	1	1
5	0	1	1	0	0	1	1	1
6								

Figura 33: Tabella delle verità usata per il controllo dei led.

Si è fatta quindi un'ultima acquisizione tramite Logic includendo anche i segnali inviati nei LED

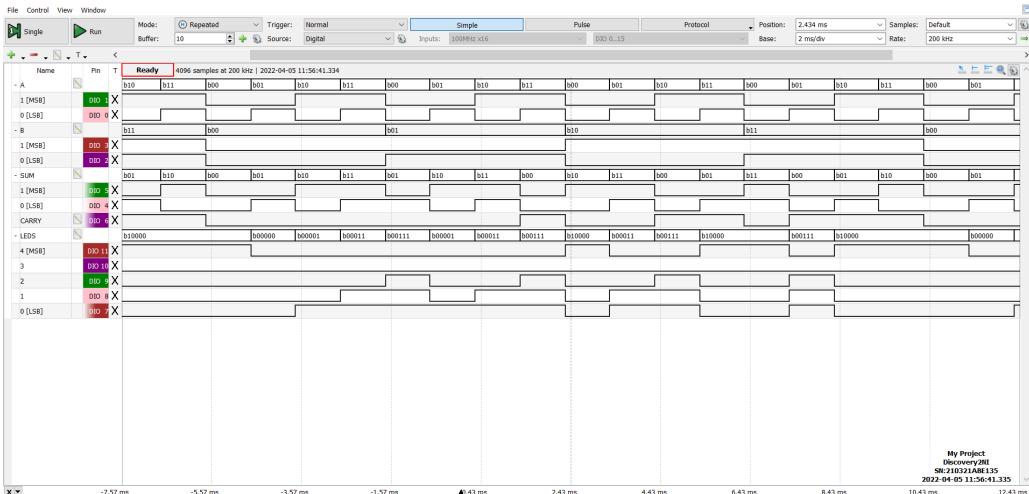


Figura 34: Acquisizione con logic dell'andamento dei vari segnali per il circuito Sommatore a 2 bit il cui risultato pilota la tabella di verità presente in 33.

Da cui come ci si aspetta l'ultimo LED verde non si accende mai (dato che con 2 bit riesco a rappresentare solo i numeri fino a 3) e solo il LED rosso si accende quando il bit di CARRY ha valore logico alto.

## Conclusioni e commenti finali

Si è riusciti a verificare il corretto comportamento delle porte TTL studiate caratterizzandone le tensioni, correnti di operazione e tempi caratteristici di circuiti integrati come il SN7404. Inoltre, è stato possibile verificare il funzionamento di circuiti logici di diversa complessità costruiti con porte NAND, XOR, e OR e si è riusciti ad apprezzare l'effetto dei tempi di propagazione delle porte nella conversione dalla codifica Gray al binario.

## Dichiarazione

I firmatari di questa relazione dichiarano che il contenuto della relazione è originale, con misure effettuate dai membri del gruppo, e che tutti i firmatari hanno contribuito alla elaborazione della relazione stessa.