



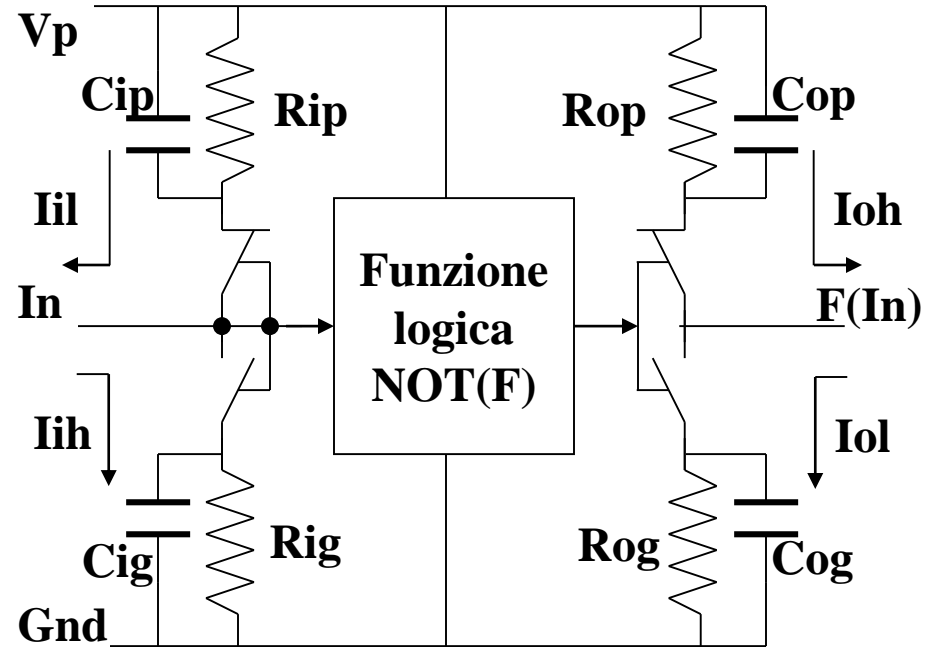
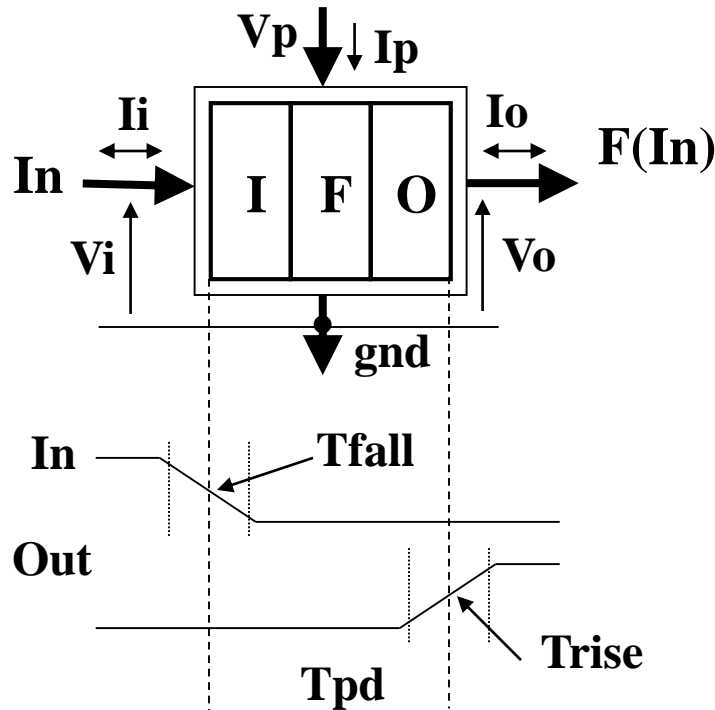
# **Sistemi di Elettronica Digitale, Sez.2**

**Alessandra Flammini**  
**alessandra.flammini@unibs.it**  
**Ufficio 24 Dip. Ingegneria dell'Informazione**  
**030-3715627 Lunedì 16:30-18:30**

# **Stadi di Ingresso e Stadi di Uscita “speciali”**

# Logica ed Elettronica, modello

- **Modello dinamico del dispositivo (interruttori con ritardi)**

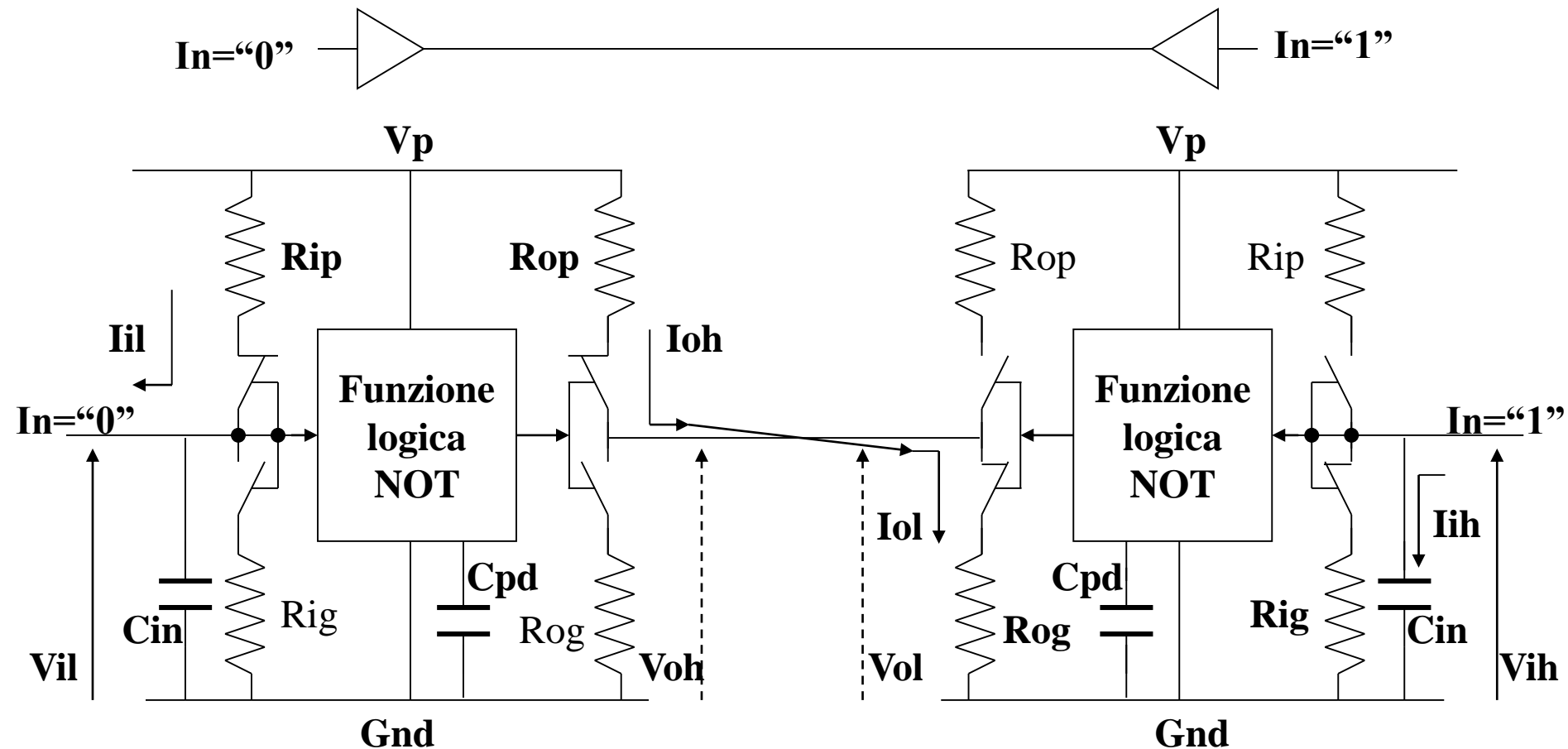


- **Molti dispositivi, detti "buffer", hanno funzione logica Identità e sono utilizzati per adattare le caratteristiche elettriche statiche e/o dinamiche o per ovviare a limitazioni funzionali (es. non posso connettere più uscite insieme)**

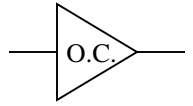
- **In questo caso  $In$  e  $Out = F(In)$  sono vettori a singola dimensione (un ingresso, un'uscita)**
- **L'informazione non cambia, cambia il segnale**

# Modello e stadio di uscita

- **Non è possibile connettere le uscite di due dispositivi (data bus???)**  
(bassa impedenza di uscita = percorso a bassa impedenza tra  $V_p$  e gnd)
  - Scorre una corrente  $I_p$  tra  $V_p$  e gnd attraverso  $R_{op}$  (dx) e  $R_{og}$  (sx),  $I_p = V_p / (R_{op} + R_{og})$
  - La linea si porta alla tensione di partitore  $V = V_p \cdot R_{og} / (R_{op} + R_{og})$
  - Se  $R_{op} = R_{og}$   $V = V_p / 2$  (zona di incertezza)

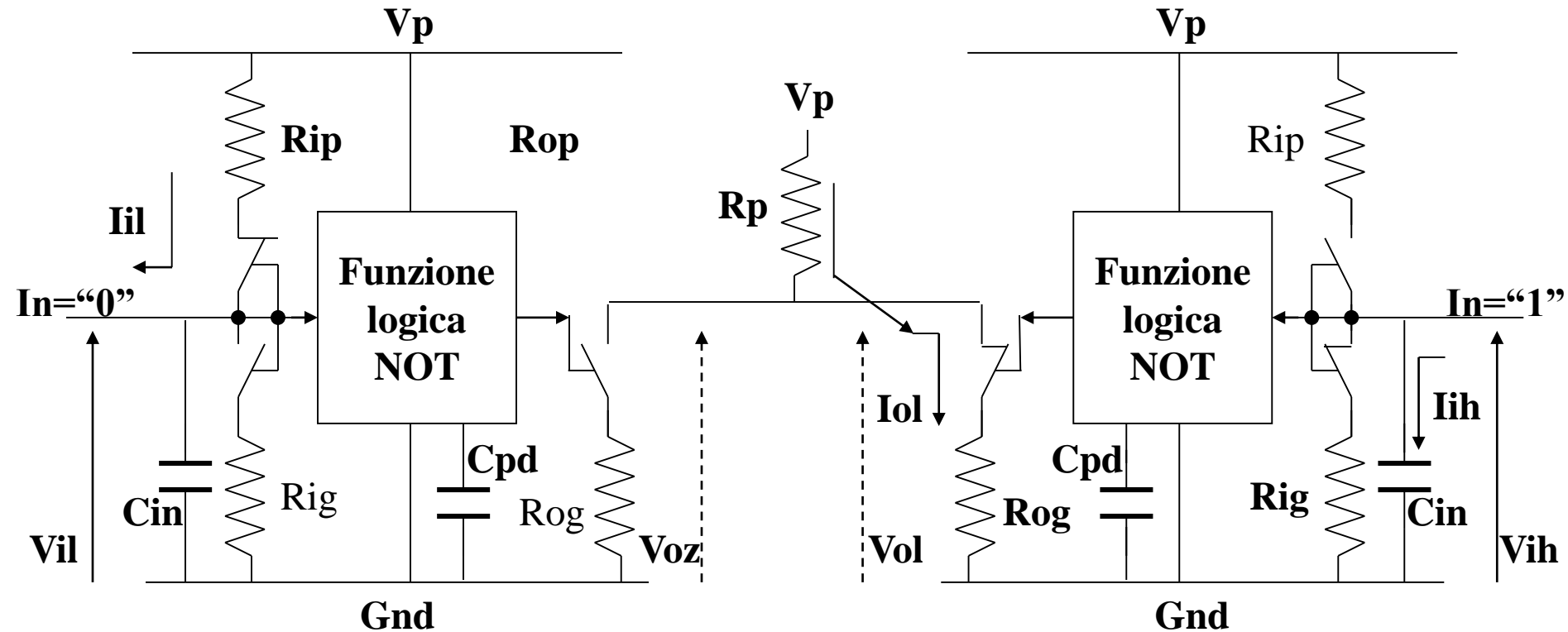
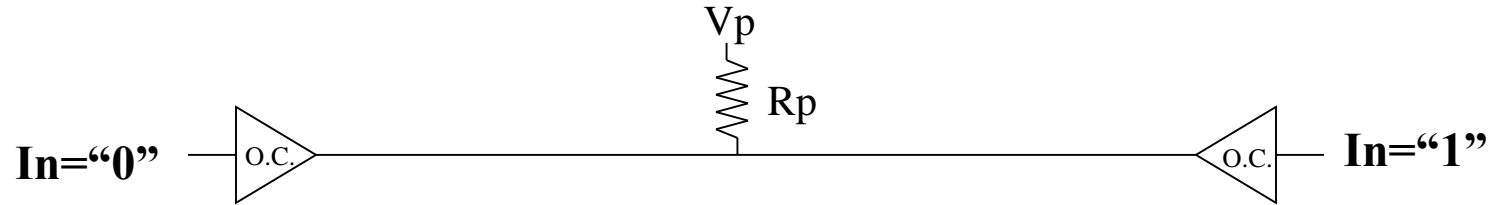


# Modello e stadio di uscita

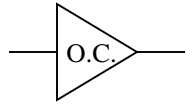


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**

- Il dispositivo ha due uscite possibili: “0” e “Z” (alta impedenza)
- Necessità di resistenza esterna di pull-up  $R_p$  ( $R_p \gg R_{op}$ ) per ricreare il livello “1”

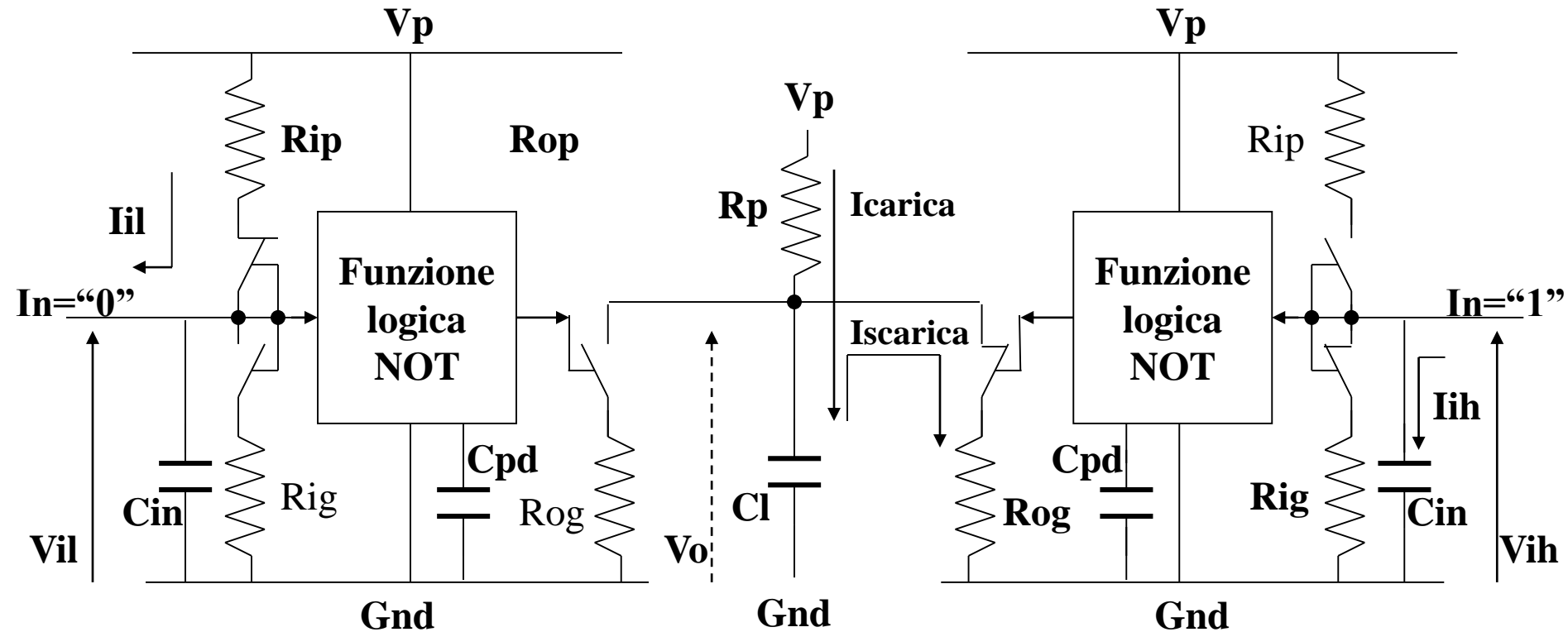
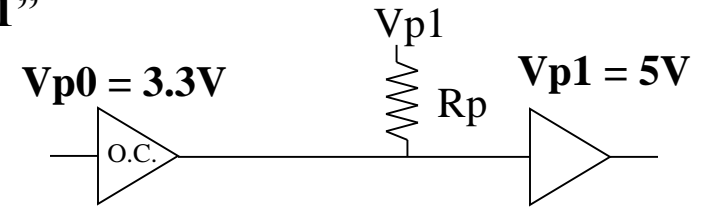


# Modello e stadio di uscita

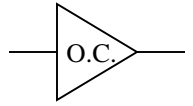


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**

- Dato che  $R_p \gg R_{op} \sim R_{og}$ , si ha un livello “1” molto più debole dello “0”
- La capacità di carico  $C_l$  si scarica velocemente su  $R_{og}$  del dispositivo che impone la commutazione a “0”, ma è molto lenta a caricarsi attraverso  $R_p$  (uscite a “Z”)
- L’open collector può agire da traslatore del livello “1”  
(es. da logiche a 3.3V verso logiche a 5V)



# Modello e stadio di uscita

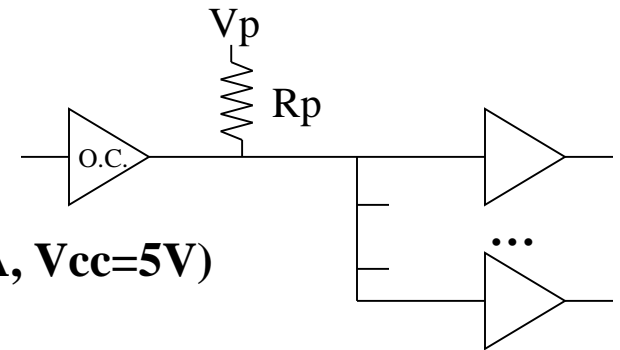


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**
- **Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up**

**Dato un dispositivo open collector che può pilotare fino a 10 dispositivi, dimensionare  $R_p$  se si desidera mantenere un'immunità al rumore di  $V_n=0,3V$ .**

**( $V_{ih}=2V$ ,  $V_{il}=0,8V$ ,  $V_{ol}=0,4V$ ,  $I_{ol}=8mA$ ,  $I_{il}=0,4mA$ ,  $I_{ih}=20\mu A$ ,  $V_{cc}=5V$ )**

**NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati  $V_{oh}$  e  $I_{oh}$**



## Soluzione

- $R_p$  deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli  $N$  carichi ( $N \cdot I_{ih}$ ) quando la linea è a livello “1” (“ $V_{oh}$ ”= $V_{ih}+V_n$ )

$$R_{max}=(V_{cc}-(V_{ih}+V_n))/(N \cdot I_{ih}) \quad (= 13,5k\Omega)$$

- La corrente che scorre in  $R_p$  quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti  $I_{il}$  provenienti dagli  $N$  carichi, deve essere inferiore alla massima corrente  $I_{ol}$  del pilota

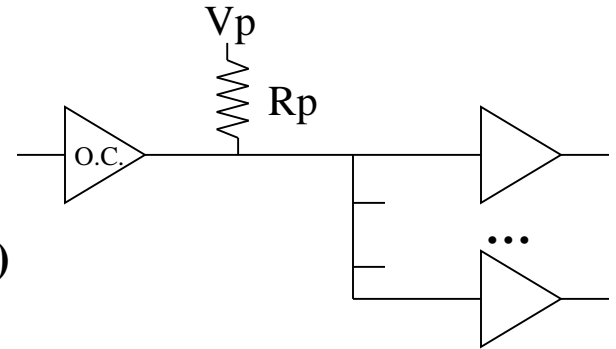
$$R_{min}=(V_{cc}-V_{ol})/(I_{ol}-N \cdot I_{il}) \quad (=1,15k\Omega)$$

- per cui un valore di  $10k\Omega$  soddisfa i requisiti.
- **NOTA: un valore di  $1,5 k\Omega$  rende il circuito più veloce**

# Modello e stadio di uscita

## • Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up

Dato un dispositivo open collector con resistenza di pull-up di  $10\text{ k}\Omega$ , qual'è il FANOUT se desidero mantenere un'immunità al rumore di  $V_n=0,3\text{V}$ ?  
( $V_{ih}=2\text{V}$ ,  $V_{ol}=0,4\text{V}$ ,  $I_{ol}=8\text{mA}$ ,  $I_{il}=0,4\text{mA}$ ,  $I_{ih}=20\mu\text{A}$ ,  $V_{cc}=5\text{V}$ )  
NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati  $V_{oh}$  e  $I_{oh}$



### Soluzione

–  $R_p$  deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli  $N$  carichi ( $N \cdot I_{ih}$ ) quando la linea è a livello “1” (“ $V_{oh}$ ”= $V_{ih}+V_n$ )

$$(V_{cc}-V_{oh})/R_p > N \cdot I_{ih} \quad N < (V_{cc}-V_{oh})/(R_p \cdot I_{ih}) \quad R_{max}=(V_{cc}-(V_{ih}+V_n))/(N \cdot I_{ih})$$

– La corrente che scorre in  $R_p$  quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti  $I_{il}$  provenienti dagli  $N$  carichi, deve essere inferiore alla massima corrente  $I_{ol}$  del pilota

$$I_{ol} > (V_{cc}-V_{ol})/R + N \cdot I_{il} \quad N < (R \cdot I_{ol}-V_{cc}+V_{ol})/I_{il} \quad R_{min}=(V_{cc}-V_{ol})/(I_{ol}-N \cdot I_{il})$$

$$- R=10\text{k}\Omega < R_{max} \rightarrow N < 13.5 \rightarrow N=13$$

$$- R=10\text{k}\Omega > R_{min} \rightarrow N < 18.85 \rightarrow N=18 \quad \text{quindi il numero massimo di carichi e' 13}$$



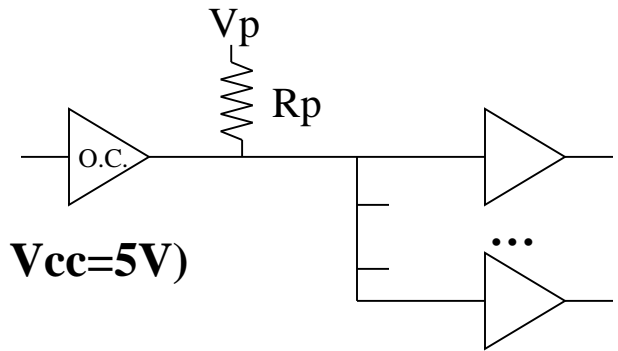
# Modello e stadio di uscita

## • Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up

Dato un dispositivo open collector con resistenza di pull-up di  $10\text{ k}\Omega$ , qual'è la massima immunità al rumore che posso ottenere con  $FANOUT=10$ ?

( $V_{ih}=2\text{V}$ ,  $V_{il}=.8\text{V}$ ,  $V_{ol}=.4\text{V}$ ,  $I_{ol}=8\text{mA}$ ,  $I_{il}=.4\text{mA}$ ,  $I_{ih}=20\mu\text{A}$ ,  $V_{cc}=5\text{V}$ )

NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati  $V_{oh}$  e  $I_{oh}$



## Soluzione

–  $R_p$  deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli  $N$  carichi ( $N \cdot I_{ih}$ ) quando la linea è a livello “1” (“ $V_{oh}$ ”= $V_{ih}+V_n$ )

$$(V_{cc}-V_{oh})/R_p > N \cdot I_{ih} \quad V_{cc}-(V_{ih}+V_{nh}) > N \cdot R_p \cdot I_{ih} \quad V_{nh} < V_{cc}-V_{ih}-N \cdot R_p \cdot I_{ih} = 5-2-2=1\text{V}$$

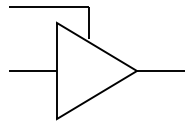
– La corrente che scorre in  $R_p$  quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti  $I_{il}$  provenienti dagli  $N$  carichi, deve essere inferiore alla massima corrente  $I_{ol}$  del pilota

$$I_{ol} > (V_{cc}-V_{ol})/R_p + N \cdot I_{il} \quad \text{ossia } 8 > 0,46+4 \quad \text{Condizione rispettata quindi } V_{nl}=V_{il}-V_{ol}=.4\text{V}$$

$$-V_n = \min(V_{oh}-V_{ih}, V_{il}-V_{ol}) = \min(V_{nh}, V_{nl}) = 0.4\text{V}$$

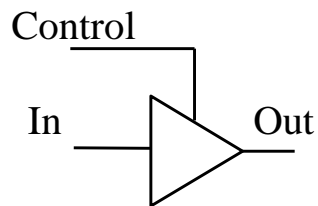
-> quindi la max immunità al rumore è  $0,4\text{V}$  (immutata rispetto alla famiglia logica)

# Modello e stadio di uscita



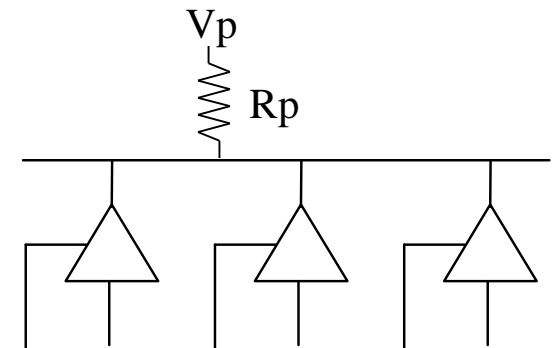
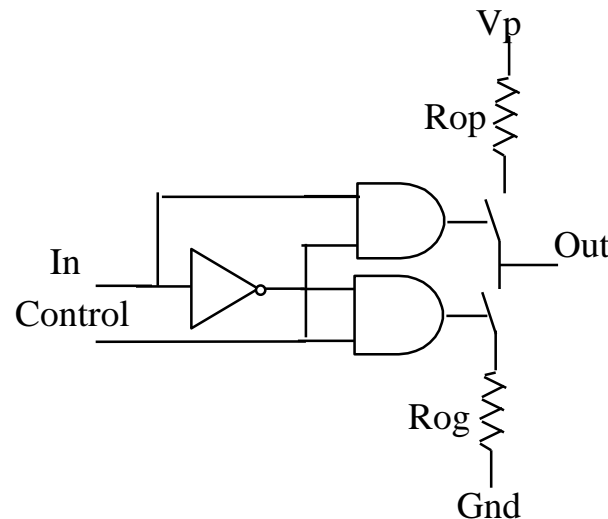
## • Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state)

- Lo stadio di uscita 3-state è aderente al modello di uscita ( $I_{oh}$ ,  $I_{ol}$ ,  $V_{oh}$ ,  $V_{ol}$ ,  $T_{rise}$ ,  $T_{fall}$ ) ma può funzionare anche con entrambi gli interruttori di uscita spenti (terzo stato = stato “Z” = stato ad alta impedenza)
- Il dispositivo ha tre uscite possibili: “0”, “1” e “Z” (alta impedenza)
- Necessità di un ingresso di controllo
- Necessità di una resistenza di pull-up per fissare il valore della linea quando il dispositivo ha l’uscita a “Z”
- Le linee multiutente realizzate con dispositivi 3-state necessitano di un protocollo perché solo un’uscita alla volta può essere abilitata

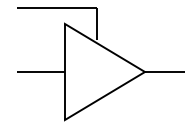


Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

X = indifferente

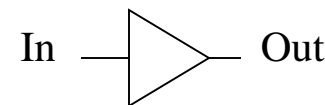
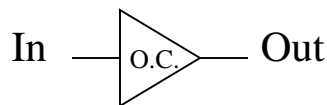
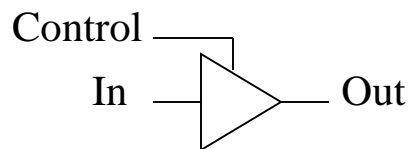


# Modello e stadio di uscita



## • Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state)

- Lo stadio di uscita 3-state è il più generale e può emulare il funzionamento dell'open collector (se  $In="0"$ , applicando il segnale d'ingresso negato a Control) e della normale porta (se  $Control="1"$ )
- Non tutti i dispositivi si realizzano 3-state perché la logica di controllo degli switch di uscita rende il dispositivo più lento



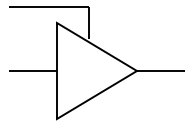
Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

In	Out
0	0
1	Z

In	Out
0	0
1	1

X = indifferente

# Modello e stadio di uscita



## • Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state): caratteristiche

**Vol** = livello di tensione dell'uscita correttamente funzionante nello stato basso

**Voh** = livello di tensione dell'uscita correttamente funzionante nello stato alto

**Iol** = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "0"

**Ioh** = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "1"

**Iozl** = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "0" ma il dispositivo e' tenuto in alta impedenza

**Iozh** = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "1" ma il dispositivo e' tenuto in alta impedenza

**Iccl** = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "0"

**Icch** = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "1"

**Iccz** = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "Z"

**Tplh** = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "0" a "1")

**Tphl** = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "1" a "0")

**Tpzh** = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita “Z” a “1”)

**Tpzl** = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita “Z” a “0”)

**Tphz** = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "1" a “Z”)

**Tplz** = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "0" a “Z”)

# Modello e stadio di uscita

## • Confronto open-collector 3-state

### THREE-STATE

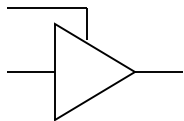
**Più veloce (mantiene lo schema complementare)**

**Maggiore disponibilità di IC**

**Limitato FAN-OUT**

**Bassa affidabilità su linea multiutente**

- meno semplice
- il singolo guasto si propaga



### OPEN-COLLECTOR

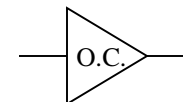
**più lento (dipende da  $R_{\text{pull-up}}$ )  
(lento solo da “0” a “1”)**

**Essenzialmente line-driver**

**Elevato FAN-OUT  
(lo posso decidere con  $R_{\text{pull-up}}$ )**

**Elevata affidabilità su linea**

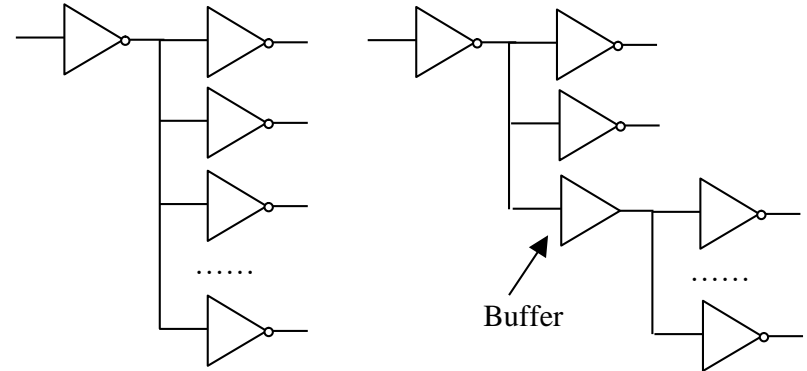
- più semplice (wired AND)
- il guasto non si propaga



# Modello e stadio di uscita

- **Buffer e transceiver**

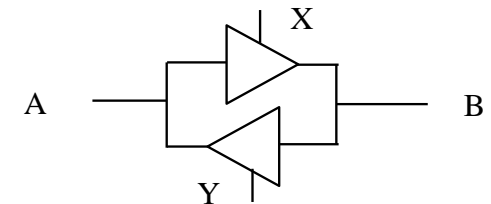
- **Esistono dispositivi con funzione logica identità (buffer) che servono per**
  - **modificare lo stadio di uscita (open collector o 3-state)**
  - **adattare il FANOUT statico o dinamico**



Problemi di FANOUT

- **Transceiver**

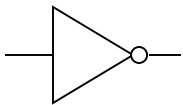
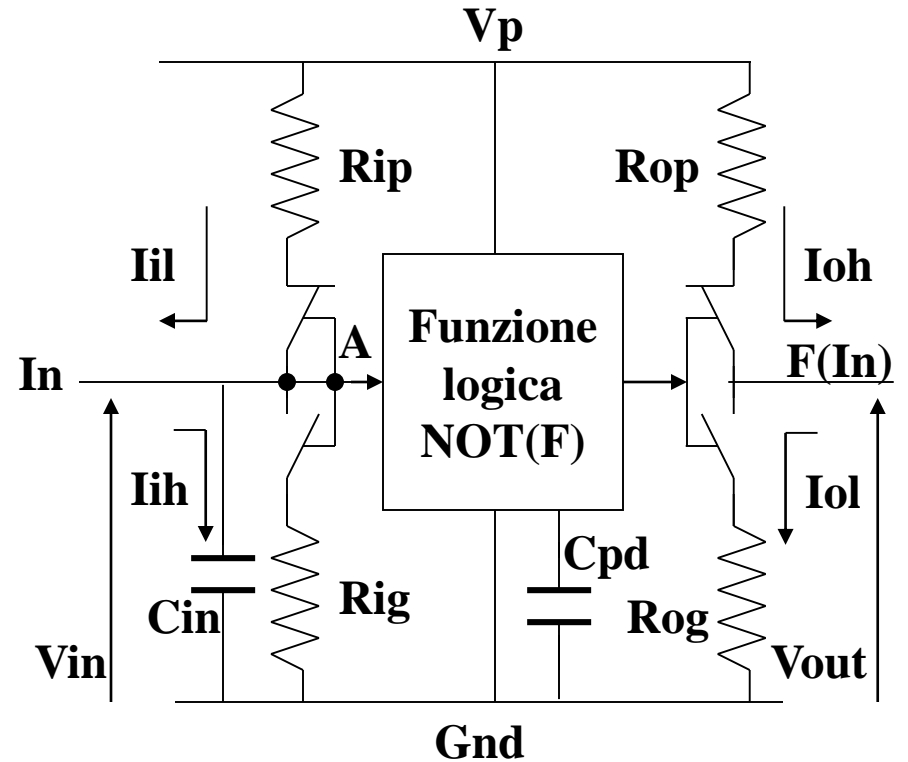
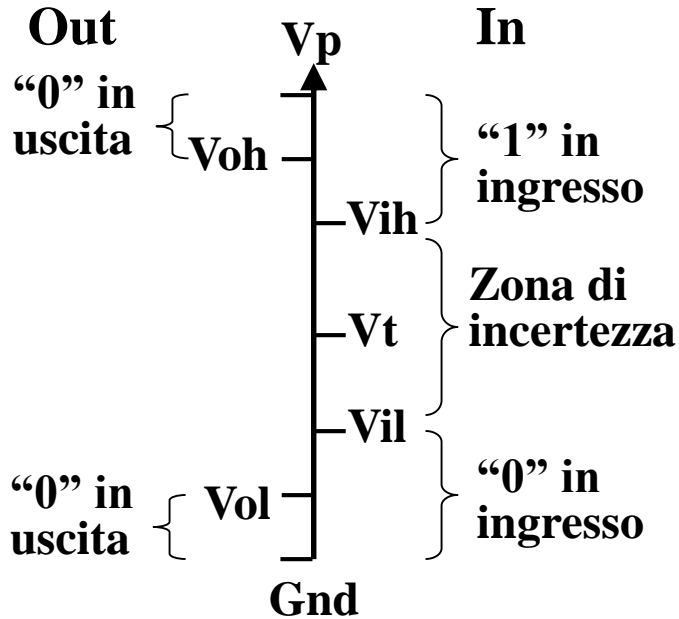
- **i buffer transceiver adattano il FANOUT statico o dinamico di bus bidirezionali**
- **composti da due 3-state in antiparallelo**
- **Organizzati in gruppi da 8 (comandi in comune)**
- **Linee !Sel e Dir disponibili all'utente (non X e Y)**



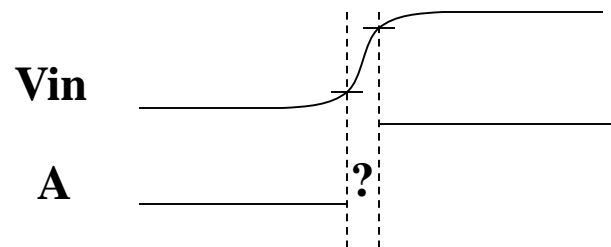
!Select	Dir	Operazione	X	Y	
0	0	Flusso da B a A	0	1	<b>X = Direction&amp;Select</b>
0	1	Flusso da A a B	1	0	<b>Y = ! Direction&amp;Select</b>
1	X	A e B isolati	0	0	

# Modello e stadio di ingresso

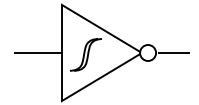
## • Zona di incertezza



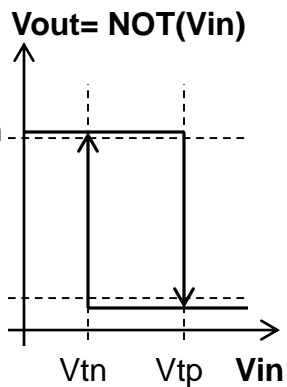
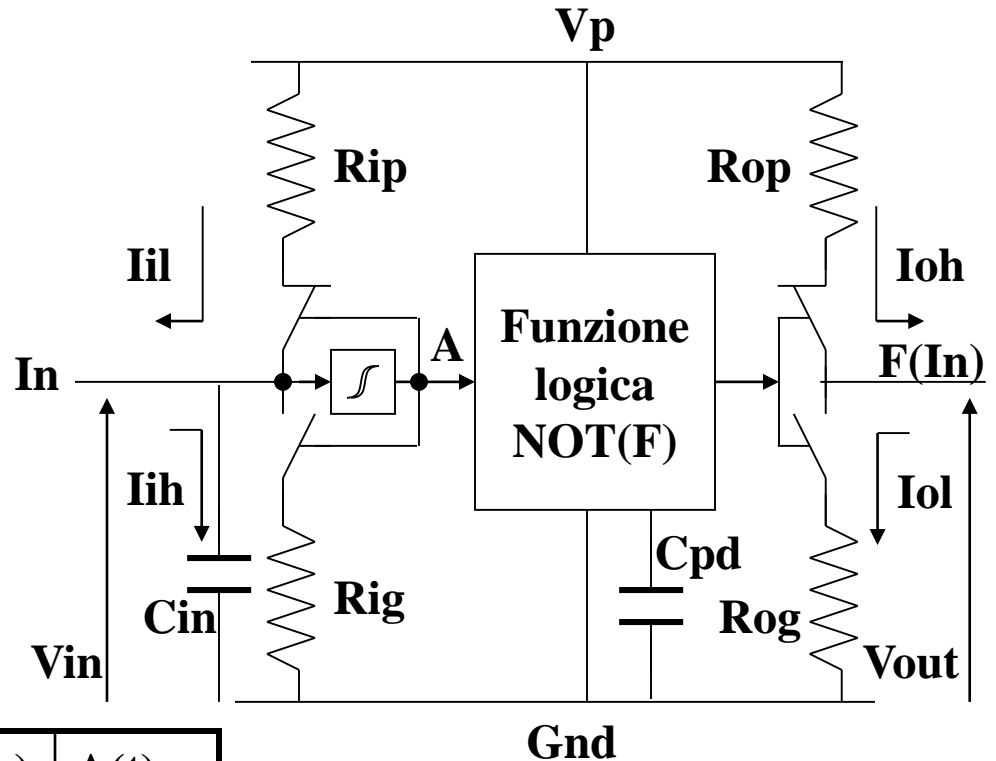
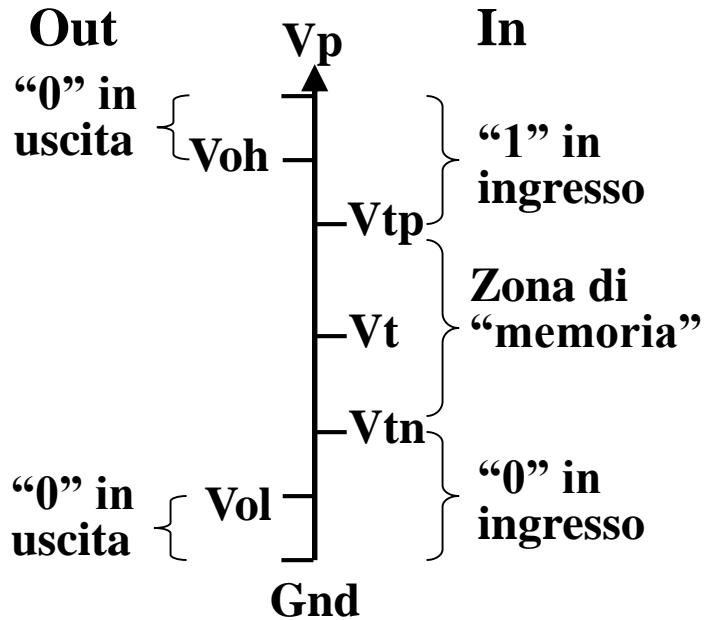
$V_{in}$	A
$< V_{il}$	“0”
$V_{il} < V_{in} < V_{ih}$	?
$> V_{ih}$	“1”



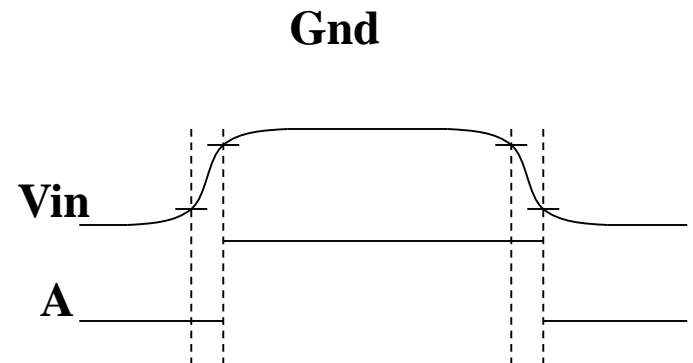
# Modello e stadio di ingresso



- Zona di incertezza? “Non cambiare!” (Schmidt trigger)



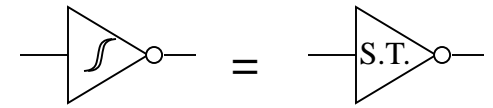
$V_{in}(t)$	$A(t-\tau)$	$A(t)$
$< V_{tn}$	X	“0”
$V_{tn} < V_{in} < V_{tp}$	“0”	“0”
$V_{tn} < V_{in} < V_{tp}$	“1”	“1”
$> V_{tp}$	X	“1”



X = indifferente,  $\tau \sim 0$  (tempo di reazione)



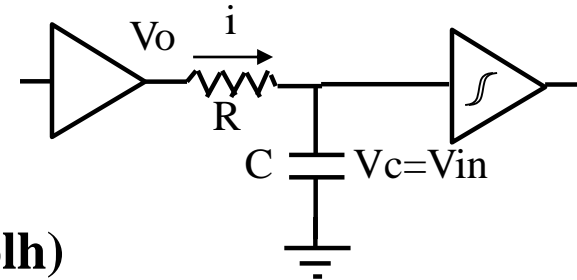
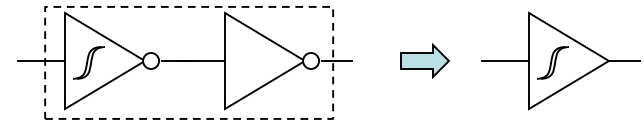
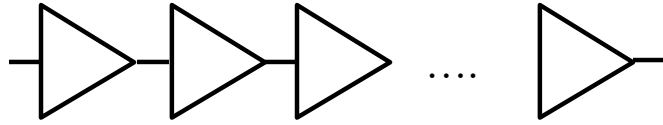
# Modello e stadio di ingresso



- **Dispositivi con ingresso Schmidt trigger**
- **Ai livelli statici di tensione in ingresso ( $V_{il}$  e  $V_{ih}$ ) si sostituiscono i livelli di transizione  $V_{tn}$  e  $V_{tp}$  (Isteresi  $V_h = V_{tp} - V_{tn}$ )**
- **Non si ha più zona d'incertezza**
  - L'uscita è sempre nota per tutti i valori dell'ingresso tra 0 e  $V_p$
- **Cambia il concetto di immunità al rumore**
  - Se  $V_{in} \leq V_{tn}$  (o  $V_{in} \geq V_{tp}$ ) posso applicare un rumore pari a  $V_h$  senza modificare l'informazione in ingresso (rumore alla commutazione)
  - Se  $V_{in} = V_{ol}$  (condizione statica) posso avere un rumore  $V_n = V_{tp} - V_{ol}$
  - Se  $V_{in} = V_{oh}$  (condizione statica) posso avere un rumore  $V_n = V_{oh} - V_{tn}$
- **Durante la commutazione i dispositivi con ingresso Schmidt trigger scambiano in ingresso correnti più elevate ( $I_{tp} > I_{ih}$ ,  $I_{tn} > I_{il}$ )**
  - Cambia il concetto di FANOUT  $N = \min(I_{ol}/I_{il}, I_{oh}/I_{ih})$   
(Se  $N > M = \min(I_{oh}/I_{tp}, I_{ol}/I_{tn})$  allora solo  $M$  dispositivi commutano “subito”)
- **I dispositivi con ingresso Schmidt trigger sono più lenti ( $\sim +50\%$ )**
- **I dispositivi con ingresso Schmidt trigger si utilizzano per “squadrare” i segnali**
  - Adattamento di logiche lente verso logiche veloci
  - Adattamento di FANOUTd (Se  $C_l \gg C_o$  devo utilizzare questi dispositivi)

# Modello e stadio di ingresso

## • Circuiti generatori di ritardo



- Il ritardo generato da  $2N$  porte è pari a  $N(T_{phl} + T_{plh})$
- Il ritardo del circuito RC dipende dalla tensione  $V_c(t)$  dopo la commutazione di  $V_o$  all'istante  $0+$  tra  $V_{ol}$  e  $V_{oh}$  e viceversa (si ipotizzi impedenza d'ingresso infinita per il dispositivo ricevitore)

$$V_o = R \cdot i(t) + V_c(t)$$

ma per un condensatore  $i(t) = C \cdot dV_c(t)/dt$

$$V_o = \tau \cdot dV_c(t)/dt + V_c(t)$$

per cui  $dV_c(t)/dt + V_c(t)/\tau = V_o/\tau$

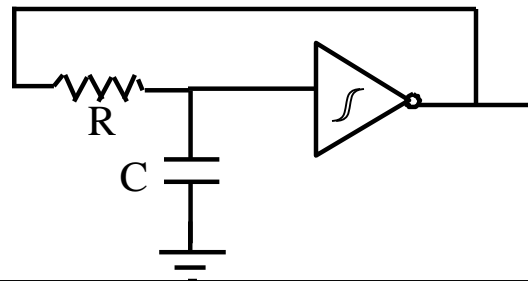
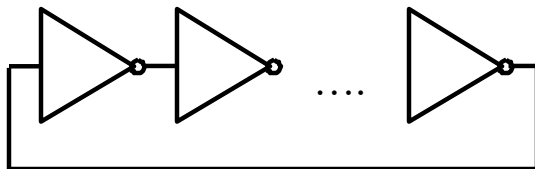
da cui  $V_c(t) = (V_c(0) - V_o)e^{-t/\tau} + V_o$  ossia, in generale,

$$V_{in}(t) = V_{in}(0) + (V_{in}(\infty) - V_{in}(0))(1 - e^{-t/\tau}) \quad (\tau = R \cdot C)$$

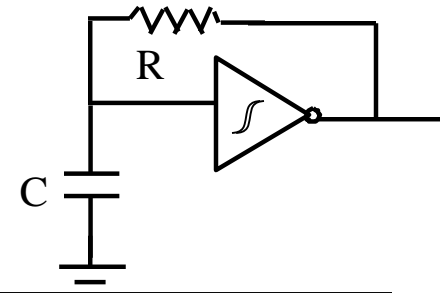
## • Circuiti oscillanti

- L'oscillatore ad anello a  $2N+1$  porte NOT oscilla con periodo  $(2N+1)(T_{phl} + T_{plh})$

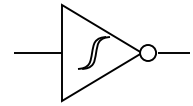
- Il ritardo del circuito RC si comporta come sopra



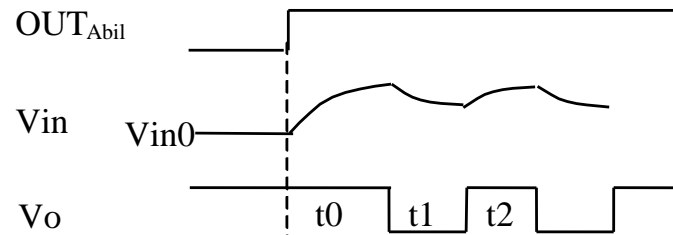
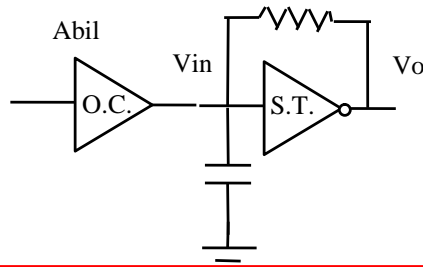
=



# Modello e stadio di ingresso



- Circuiti con dispositivi con ingresso Schmidt trigger: astabile

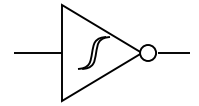


**Carica/scarica C**       $V_{th} = (V_{fin} - V_{ini})(1 - e^{-tx/\tau}) + V_{ini}$        $tx = \tau * \ln(V_{fin} - V_{ini}) / (V_{fin} - V_{th})$

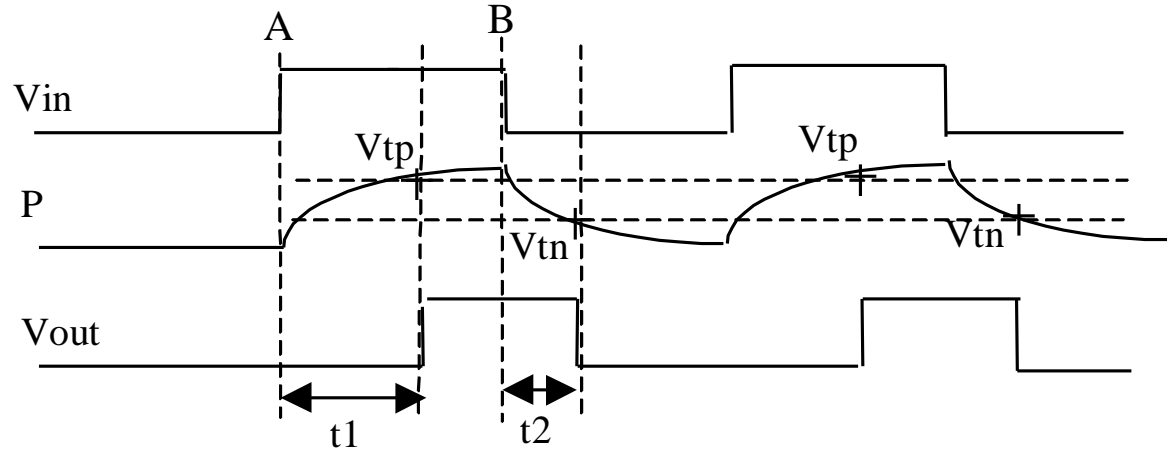
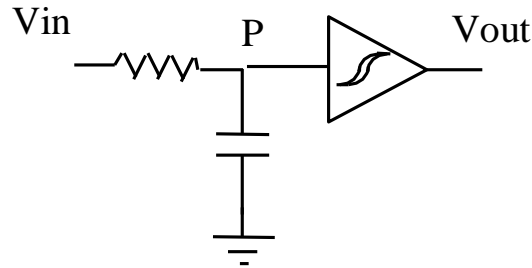
- $t=0$ :  $V_{out_{Abil}} = Vol$        $V_{in0} = Vol \approx "0"$        $\Rightarrow$        $V_o = V_{oh}$       ( $\tau = R \cdot C$ )
- $t=start$ :  $V_{out_{Abil}} = "Z"$        $V_{in} = (V_{oh} - V_{in0})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{in0}$        $V_o = V_{oh}$
- $t=t_0$ :  $V_{in} = V_{tp}$        $t_0 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{in0}) / (V_{oh} - V_{tp})$        $V_o = Vol$   
 $V_{in} = (Vol - V_{tp})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tp}$
- $t=t_1$ :  $V_{in} = V_{tn}$        $t_1 = \tau * \ln(V_{tp} - Vol) / (V_{tn} - Vol)$        $V_o = V_{oh}$   
 $V_{in} = (V_{oh} - V_{tn})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tn}$
- $t=t_2$ :  $V_{in} = V_{tp}$        $t_2 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{tn}) / (V_{oh} - V_{tp})$        $V_o = Vol$   
 $V_{in} = (Vol - V_{tp})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tp}$       .....

- Gli oscillatori realizzati mediante questo circuito sono di bassa qualità (i livelli dipendono dalla temperatura e dalla tensione di alimentazione)
- Si possono realizzare oscillatori ad anello costituiti da una serie di  $2N+1$  porte NOT o da contatori

# Modello e stadio di ingresso



- Circuiti con dispositivi con ingresso Schmidt trigger: ritardo



$t=A^-:$	$V_{in} = V_{ol}$	$V_p = V_{p0} \approx V_{in} \approx 0$	$(\tau = R \cdot C)$	$V_{out} = V_{ol}$
$t=A^+:$	$V_{in} = V_{oh}$	$V_p = (V_{oh} - V_{p0})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{p0}$		$V_{out} = V_{ol}$
$t=t_1:$	$V_p = V_{tp}$	$t_1 = \tau \cdot \ln(V_{oh} - V_{ol}) / (V_{oh} - V_{tp})$		$V_{out} = V_{oh}$
		$V_p = (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{ol} \rightarrow V_{oh}$		
$t=B:$	$V_{in} = V_{ol}$	$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh}$		$V_{out} = V_{oh}$
$t=t_2:$	$V_p = V_{tn}$	$t_2 = \tau \cdot \ln(V_{oh} - V_{ol}) / (V_{tn} - V_{ol})$		$V_{out} = V_{ol}$
		$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh} \rightarrow V_{ol} \dots$		

- I generatori di ritardo realizzati mediante questo circuito sono di bassa qualità (i livelli dipendono dalla temperatura e dalla tensione di alimentazione)
- Si può realizzare “ritardi” mediante sequenze pari di porte NOT o contatori

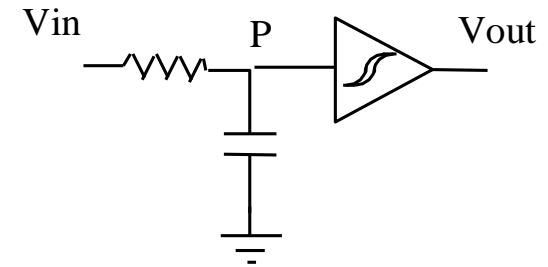
# Modello e stadio di ingresso

## • Esercizio, generatore di ritardo

Dato il circuito a lato, si ipotizzi di applicare in ingresso un'onda quadra con duty cycle pari a 50% a 10kHz. Si calcoli la massima variazione del duty cycle in uscita e lo sfasamento medio tipico

(ritardo). ( $\tau = RC = 10\mu s$ )

	min	typ	max
V <sub>ol</sub>	0V	0.25V	0.4V
V <sub>oh</sub>	2.7V	3.4V	3.7V
V <sub>tn</sub>	0.5V	0.8V	1.0V
V <sub>tp</sub>	1.4V	1.6V	1.9V



## Soluzione

Dato un segnale a frequenza F (periodo T) il duty cycle D è definito come Ton/T. In ingresso Ton=50%T=T/2=50 μs, in uscita è Ton=T/2-t<sub>1</sub>+t<sub>2</sub>=50 μs-(t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>): il valore minimo e massimo verrà calcolato utilizzando il valore minimo e massimo di t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>. Lo sfasamento medio tipico sarà dato dal valore medio di t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub> tipici. Applicando le relazioni sopra indicate si ha:

$$t_1-t_2 = \tau \cdot \ln((V_{oh}-V_{ol})/(V_{oh}-V_{tp})) - \tau \cdot \ln((V_{oh}-V_{ol})/(V_{tn}-V_{ol})) = \tau \cdot \ln((V_{tn}-V_{ol})/(V_{oh}-V_{tp}))$$

$$t_1-t_2, \text{min} = \tau \cdot \ln((0.5-0.4)/(3.7-1.4)) = -3.1\tau = -31 \mu s$$

$$t_1-t_2, \text{max} = \tau \cdot \ln((1.0-0)/(2.7-1.9)) = 0.22\tau = 2.2 \mu s$$

Quindi il duty cycle può variare dal 47.8% al 81%.

$$t_{1, \text{typ}} = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(3.4-1.6)) = 0.56\tau = 5.6 \mu s$$

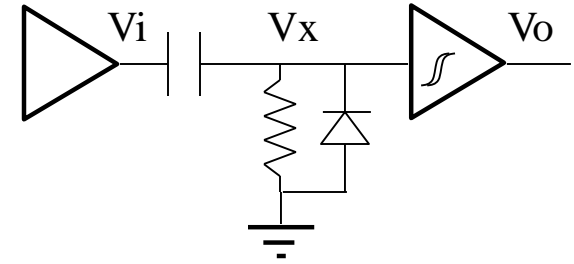
$$t_{2, \text{typ}} = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(0.8-0.25)) = 1.75\tau = 17.5 \mu s$$

Lo sfasamento tipico medio è pari a  $(t_{1, \text{typ}} + t_{2, \text{typ}})/2 = 1.155\tau = 11.5 \mu s$

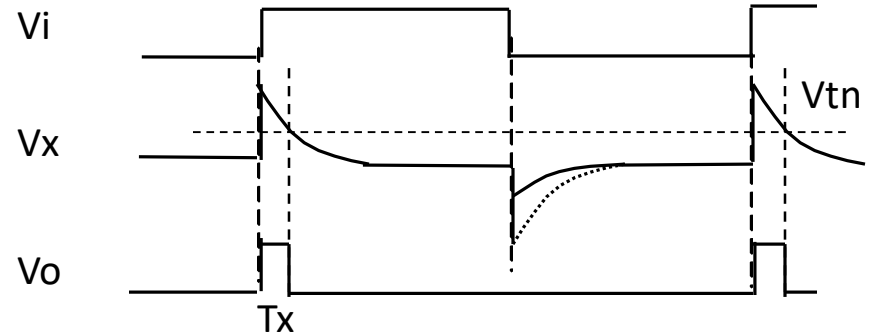
# Modello e stadio di ingresso

## • Esercizio, rilevatore fronte di salita

Dato il circuito a lato, se ne discuta il funzionamento, ipotizzando di applicare in ingresso un'onda quadra con duty cycle pari a 50% a 10kHz. ( $\tau = RC = 10\mu s$ )



	min	typ	max
Vol	0V	0.25V	0.4V
Voh	2.7V	3.4V	3.7V
Vtn	0.5V	0.8V	1.0V
Vtp	1.4V	1.6V	1.9V



### Soluzione

Il circuito agisce da rilevatore di fronte di salita generando in uscita un impulso di durata fissa  $T_x$  in corrispondenza di un fronte positivo in ingresso. Il diodo evita tensioni negative troppo elevate in corrispondenza del fronte di discesa. All'inizio  $V_i = V_{ol}$  e  $V_x = 0$ . All'applicazione del fronte di salita su  $V_i$  ( $V_{ol} \rightarrow V_{oh}$ ), il condensatore trasmette la variazione di tensione  $V_{oh} - V_{ol}$  al punto  $V_x$  che si porta istantaneamente a  $V_{oh} - V_{ol}$  attraversando  $V_{tp}$  e quindi portando a "1" l'uscita del circuito. Il condensatore comincia a caricarsi secondo la legge esponenziale applicata a  $V_c = V_i - V_x$ .

$V_c = V_{ol} + (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau})$ . Quindi si ha  $V_x = V_i - V_c = V_{oh} - V_{ol} - (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau}) = (V_{oh} - V_{ol})e^{-t/\tau}$

$T_x$  è il tempo che impiega  $V_x$  ad arrivare da  $V_{oh} - V_{ol}$  a  $V_{tn}$ .  $V_{tn} = (V_{oh} - V_{ol})e^{-T_x/\tau}$

$T_x = \tau \cdot \ln((V_{oh} - V_{ol})/V_{tn}) = \tau \cdot \ln((3.4 - 0.25)/0.8) = \tau \cdot 1.37 = 13.7 \mu s$

$T_{x, \max} = \tau \cdot \ln((3.7 - 0)/0.5) = \tau \cdot 2.00 = 20 \mu s$

$T_{x, \min} = \tau \cdot \ln((2.7 - 0.4)/1) = \tau \cdot 0.83 = 8.3 \mu s$

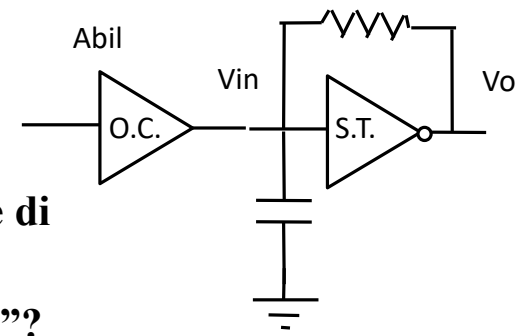
Nota: il rilevatore di fronte può essere ottenuto anche dal generatore di ritardo e da porte logiche

$V_o = V_i(t) \& \neg V_i(t - \tau)$  (l'uscita è il risultato dell'AND tra l'ingresso e il negato dell'ingresso ritardato)

# Modello e stadio di ingresso

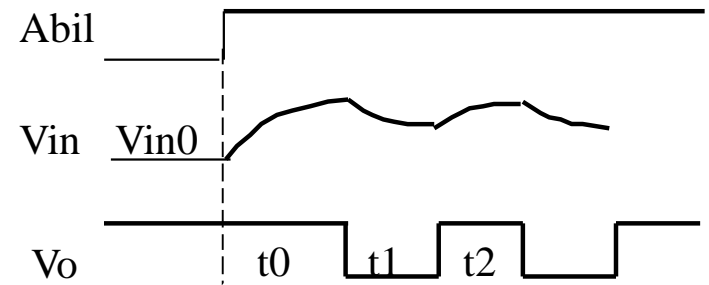
## • Esercizio

Dato il circuito a lato, si ipotizzi di applicare all'ingresso Abil un fronte di salita e si calcoli il periodo max e typ di oscillazione. ( $\tau = RC = 10\mu s$ ).



Qual è la minima durata dell'impulso di Abil per variare l'uscita da "1"?

	min	typ	max
Vol	0V	0.25V	0.4V
Voh	2.7V	3.4V	3.7V
Vtn	0.5V	0.8V	1.0V
Vtp	1.4V	1.6V	1.9V



- $t=t1$ :  $V_{in}=V_{tn}$   $t1 = \tau \cdot \ln(V_{tp}-V_{ol})/(V_{tn}-V_{ol})$   
 $typ = \tau \cdot \ln(1.6-0.25)/(0.8-0.25) = 9.0\mu s$   $max = \tau \cdot \ln(1.9-0)/(0.5-0.4) = 29.4\mu s$   
 $V_o = V_{oh}$   $V_{in} = (V_{oh}-V_{tn}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{tn}$  **salita**
- $t=t2$ :  $V_{in}=V_{tp}$   $t2 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{tn})/(V_{oh}-V_{tp})$   
 $typ = \tau \cdot \ln(3.4-0.8)/(3.4-1.6) = 3.7\mu s$   $max = \tau \cdot \ln(3.7-0.5)/(2.7-1.9) = 13.9\mu s$   
 $V_o = V_{ol}$   $V_{in} = (V_{ol}-V_{tp}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{tp}$  **discesa**

- $t=0^-$ :  $V_{out}_{Abil} = V_{ol}$   $V_{in0} = V_{ol}, V_o = V_{oh}$
- $t=0^+$ :  $V_{in} = (V_{oh}-V_{in0}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{in0}$   $V_o = V_{oh}$
- $t=t0$ :  $V_{in} = V_{tp}$   $t0 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{in0})/(V_{oh}-V_{tp})$   $V_o = V_{ol}$

- Per avere commutazione in uscita è necessario attendere  $t0$  il cui valore massimo è pari a  $t0 = \tau \cdot \ln(3.7-0)/(2.7-1.9) = 15.3\mu s$

# Oscillatore Schmidt Trigger basato su 74HC132

## • Dal datasheet 74HC132 ( $V_{cc}=5V$ )

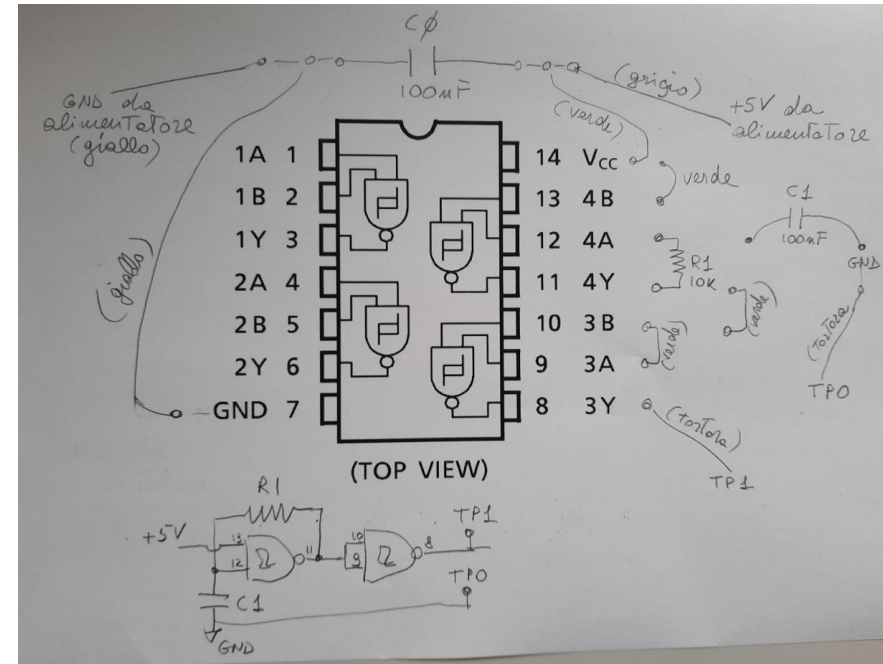
$R=10k$ ,  $C=100nF$  ( $\tau = RC = 1ms$ ). Periodo  $T$ ? Ton?

	min	typ	max
$V_{ol}$	0V	0.05V	0.1V
$V_{oh}$	4.9V	4.95V	5V
$V_{tn}$	1V	1.86V	2.45V
$V_{tp}$	1.8V	2.63V	3.45V

Isteresi minima a 0.5V (typ 0.77V)

### NOTE:

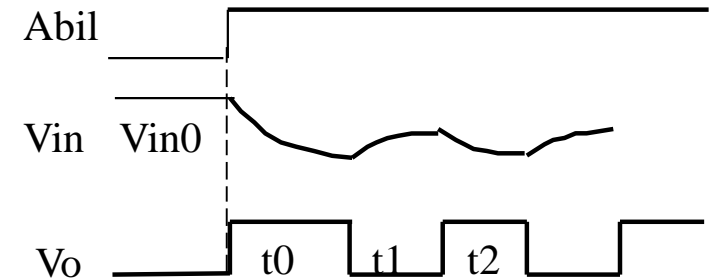
- valori di soglia molto variabili
- $V_{in} = V_{C1}$ ,  $V_o = \text{Pin 8 del 74HC132 (TP1)}$
- $t_x = \tau * \ln(V_{fin} - V_{ini}) / (V_{fin} - V_{th})$



$t=t_0(\text{Toff}): V_{in0}=V_{oh} \quad V_{in} = (V_{ol}-V_{oh})(1-e^{-t/\tau}) + V_{oh}$   
 $V_{in}=V_{tn} \quad t_0 = \tau * \ln(V_{oh}-V_{ol}) / (V_{tn}-V_{ol})$   
 $\text{typ} = \tau * \ln(4.95-0.05) / (1.86-0.05) = 1.00ms$

$t=t_1(\text{Toff}): V_{in0}=V_{tn} \quad V_{in} = (V_{oh}-V_{tn})(1-e^{-t/\tau}) + V_{tn}$   
 $V_{in}=V_{tp} \quad t_1 = \tau * \ln(V_{oh}-V_{tn}) / (V_{oh}-V_{tp})$   
 $\text{typ} = \tau * \ln(4.95-1.86) / (4.95-2.63) = 0.29ms$

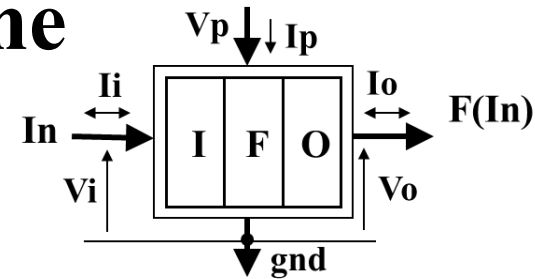
$t=t_2(\text{Ton}): V_{in0}=V_{tp} \quad V_{in} = (V_{ol}-V_{tp})(1-e^{-t/\tau}) + V_{tp}$   
 $V_{in}=V_{tn} \quad t_2 = \tau * \ln(V_{ol}-V_{tp}) / (V_{ol}-V_{tn})$   
 $\text{typ} = \tau * \ln(0.05-2.63) / (0.05-1.86) = 0.35ms$



**NOTA: risultati sperimentali diversi (nel mio caso  $t_2 > t_1$  e  $t_1 + t_2 = 0.95ms$ ) (corrispondenti a circa  $V_{tn}=2$  e  $V_{tp}=3,1$ )**



# L'elemento "Buffer" e le porte logiche



- **Buffer =dispositivo con funzione logica F identità invertente o non**
  - Viene utilizzato per risolvere problemi di FANOUT statico o dinamico
  - Il Buffer risolve problemi di FANOUT statico in quanto "rigenera" la corrente ( $I_{ol} > I_{il}$  e  $I_{oh} > I_{ih}$ )
  - Il Buffer risolve problemi di FANOUT dinamico in quanto "rigenera" la capacità ( $C_{lo} > C_{in}$ )
- **Esistono Buffer con ingressi o uscite speciali**
  - Buffer con uscita open-collector o three state
  - Buffer con ingresso Schmidt trigger
  - Buffer con uscite potenziata in corrente
- **Esistono dispositivi che integrano da 1 a 4 porte logiche**
  - (NOT), OR, AND, NOR, NAND, XOR, AOI (AND-OR-INVERT)
  - Le porte possono avere un numero variabile di ingressi
  - FAN-IN = numero di ingressi per porta logica (tip. 8, 16, 32)
  - Ci sono notevoli complicazioni tecnologiche a realizzare una porta NAND con 100 ingressi!