



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



## **Introduzione all'elettronica digitale**

**A.Carini – Elettronica digitale**

# Elettronica dei Sistemi Digitali

Segnali analogici -> Elettronica dei sistemi analogici

Segnali digitali -> Elettronica dei sistemi digitali

- Con elettronica digitale, ci riferiamo al trattamento elettronico di segnali digitali binari.
- Segnali binari: assumono due soli valori o stati, indicati con 1 0.
- Sono rappresentati nei circuiti elettrici con 2 valori discreti di una grandezza elettrica (tipicamente una tensione).
- I due stati del circuito elettrico: stato alto e basso oppure interdizione e conduzione

# Il campo dell'elettronica digitale

- Riguarda lo studio, la comprensione, la progettazione dei circuiti elettronici elementari che costituiscono i blocchi base per la realizzazione dei sistemi digitali più complessi.
- I circuiti digitali sono descrivibili mediante la funzione logica implementata, ovvero mediante il legame logico tra variabili di ingresso.
- In realtà, nessun circuito si comporta in modo ideale:
  - le grandezze variano in modo analogico,
  - con ritardi rispetto ai segnali in ingresso,
  - con livelli variabili rispetto a quelli prefissati,
  - con assorbimenti variabili di potenza elettrica.
- Lo studio e la progettazione di questi circuiti non può prescindere da una descrizione ed una analisi di tipo elettrico.

# Rappresentazione logica

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

Relazione booleana

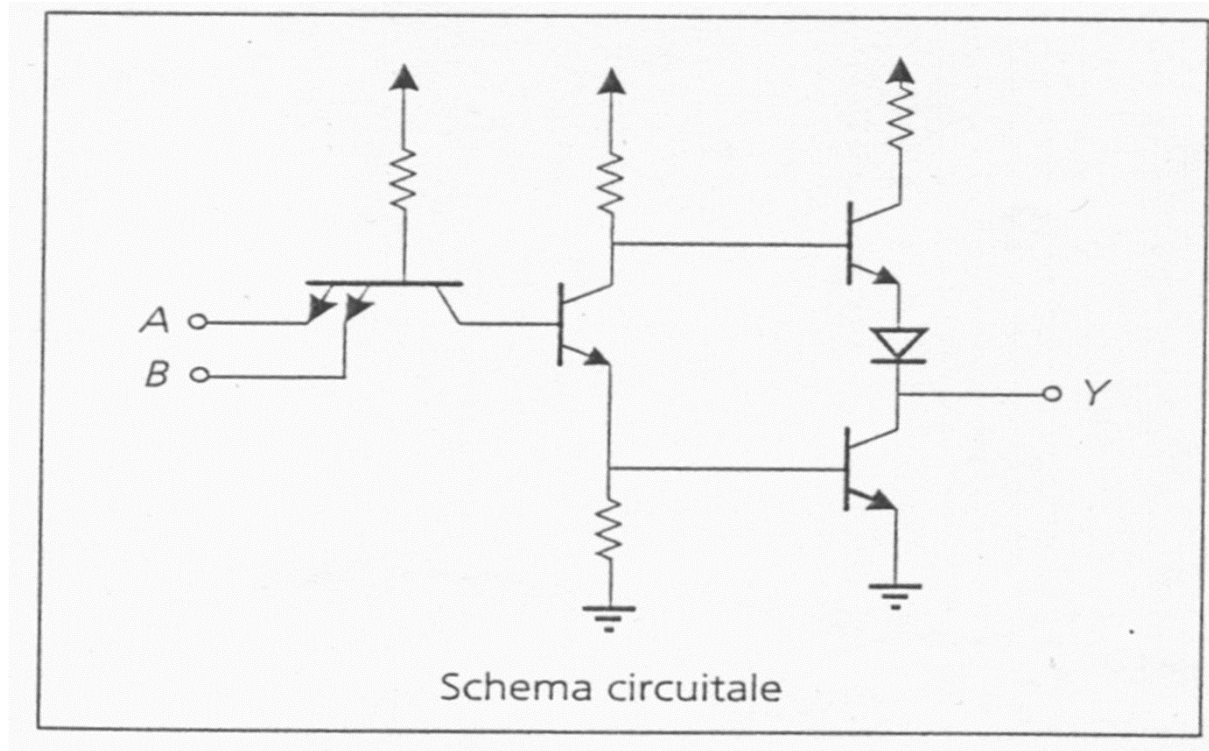
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabella della verità

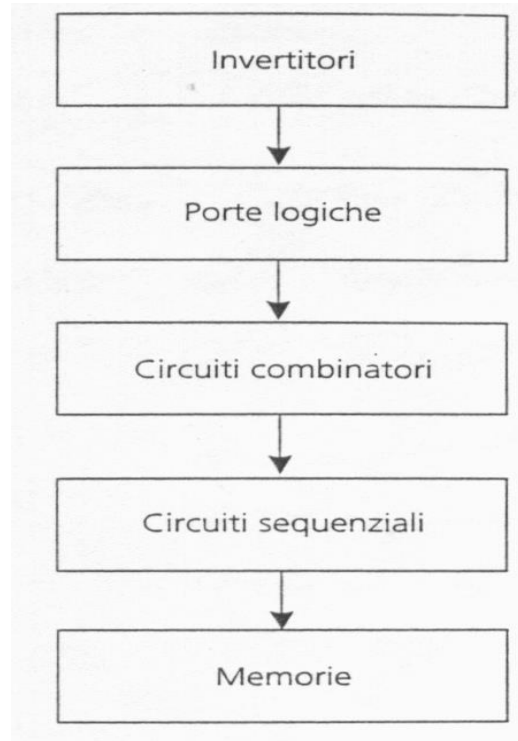


Simbolo logico

# Rappresentazione circuitale



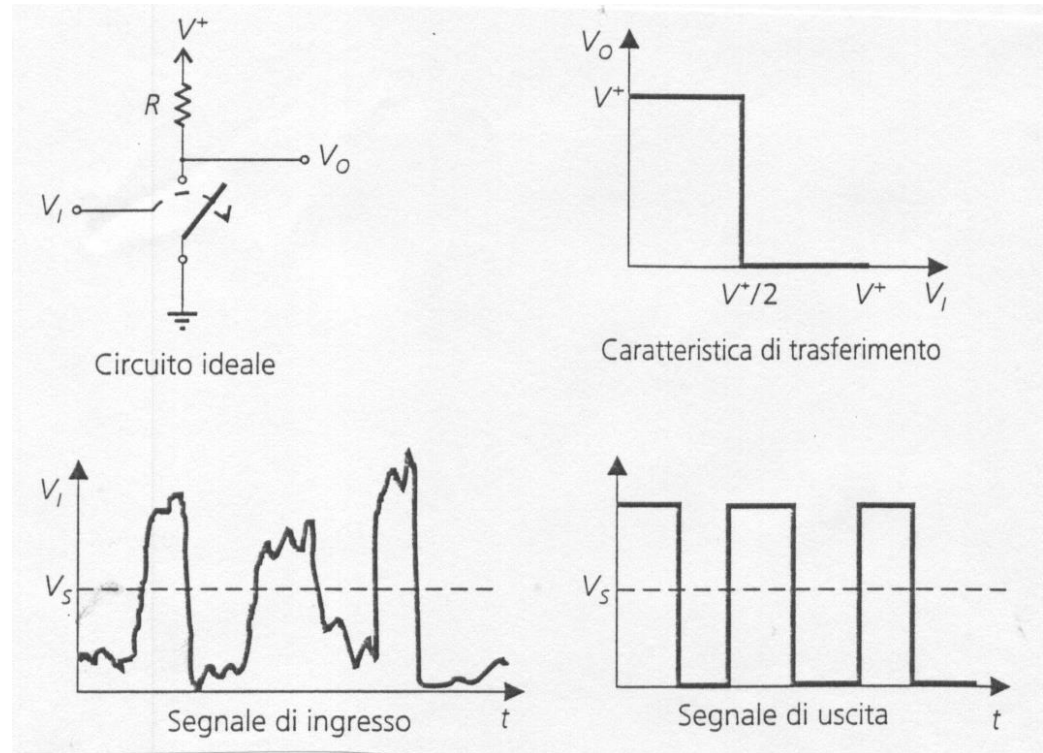
# Funzioni fondamentali



# Invertitore Ideale

Abbina:

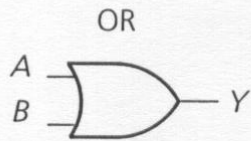
- Inversione dei livelli logici
- Rigenerazione del segnale



# Porte logiche

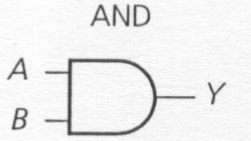
Tabella della verità

**OR**




A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

**AND**



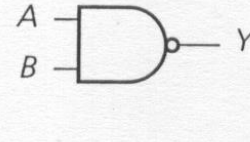
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**NOR**




A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

**NAND**



A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

**XOR**



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



# Porta NOR

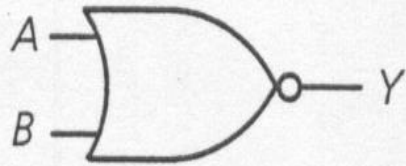
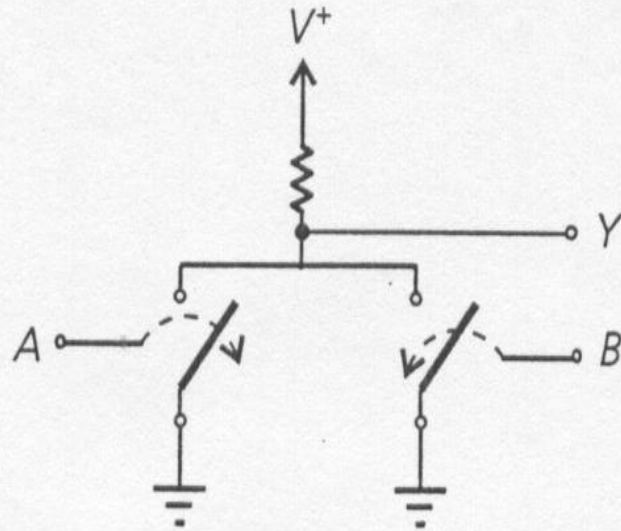
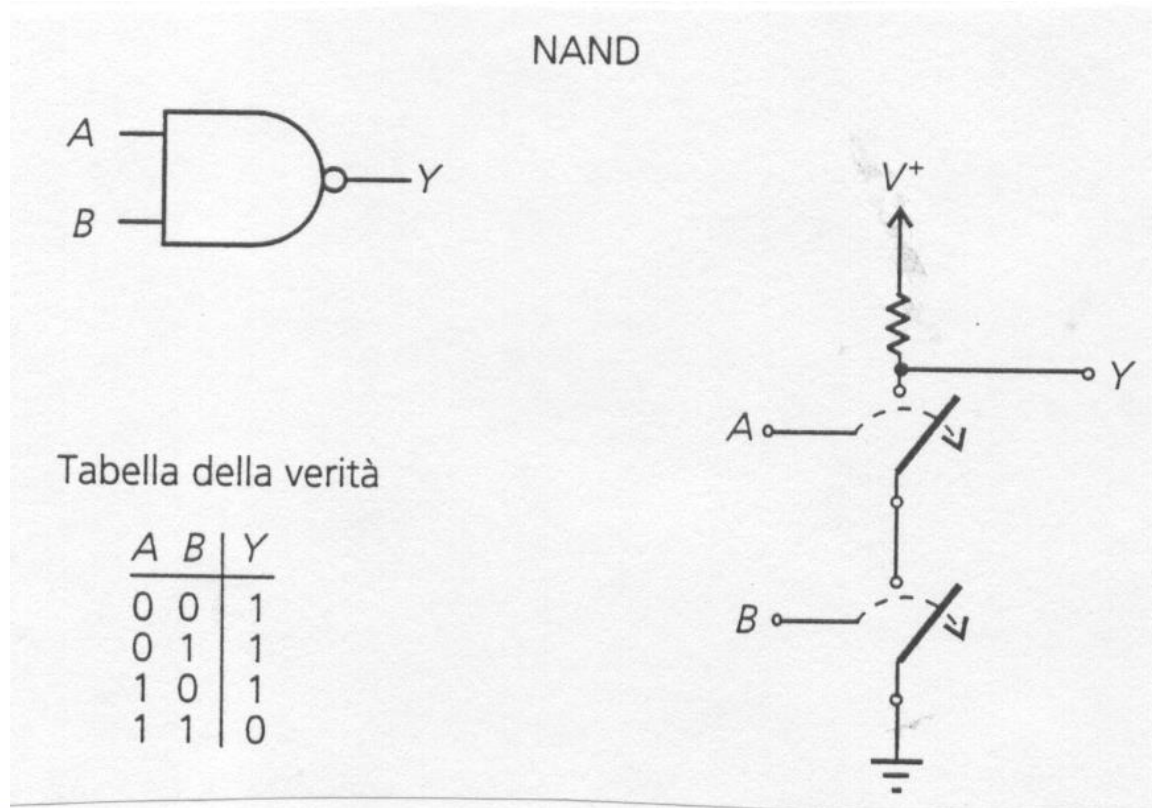


Tabella della verità

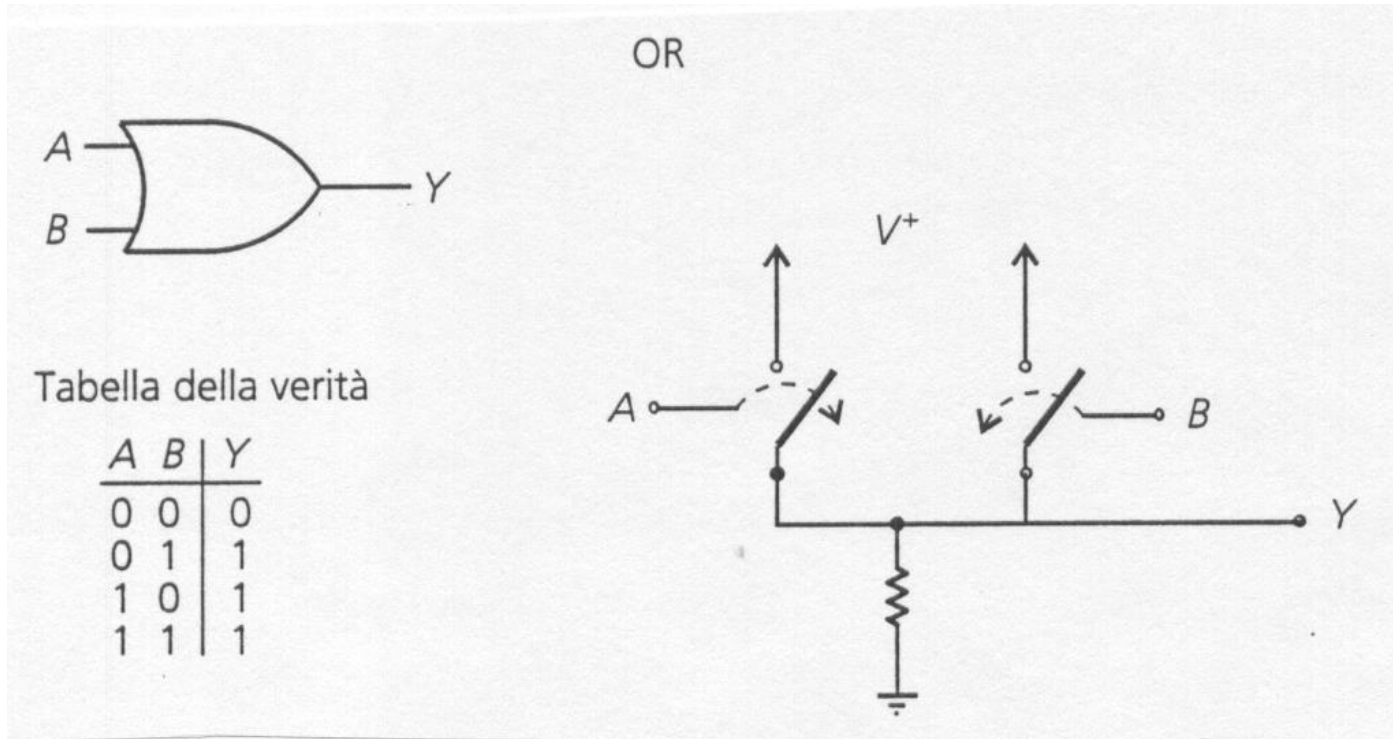
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



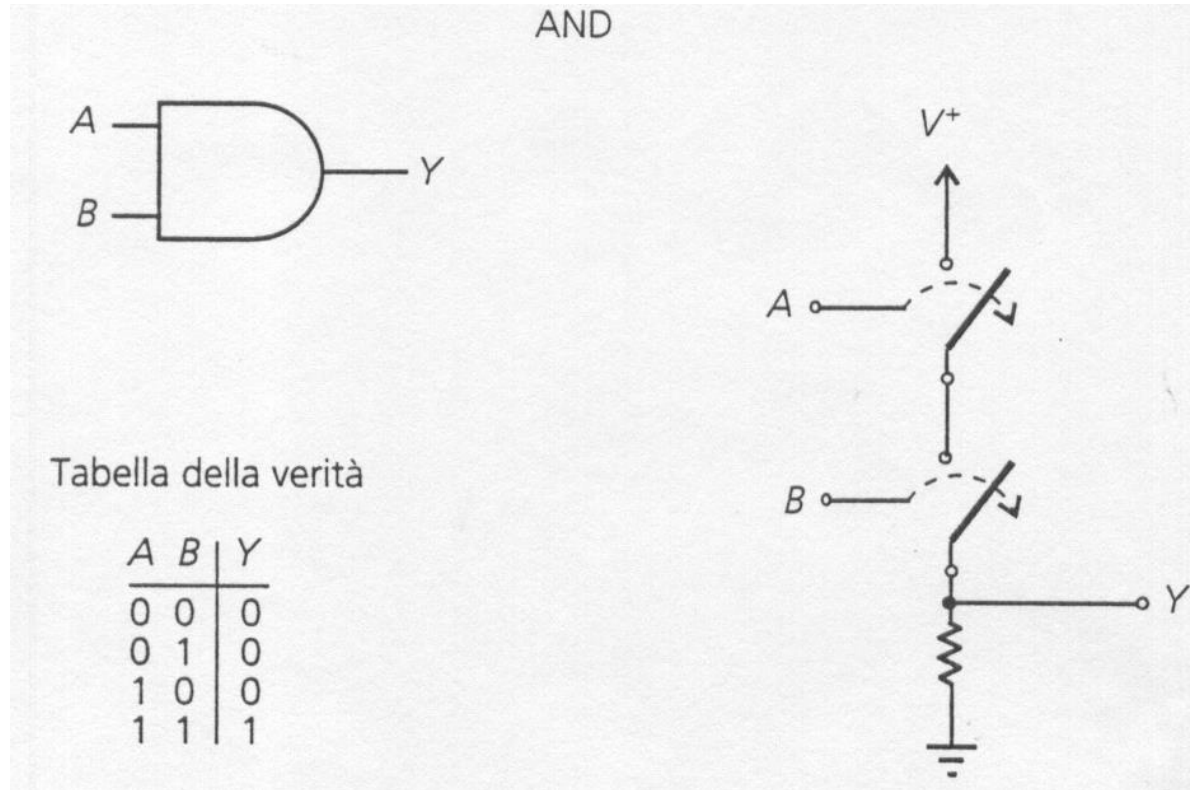
# Invertitore Ideale



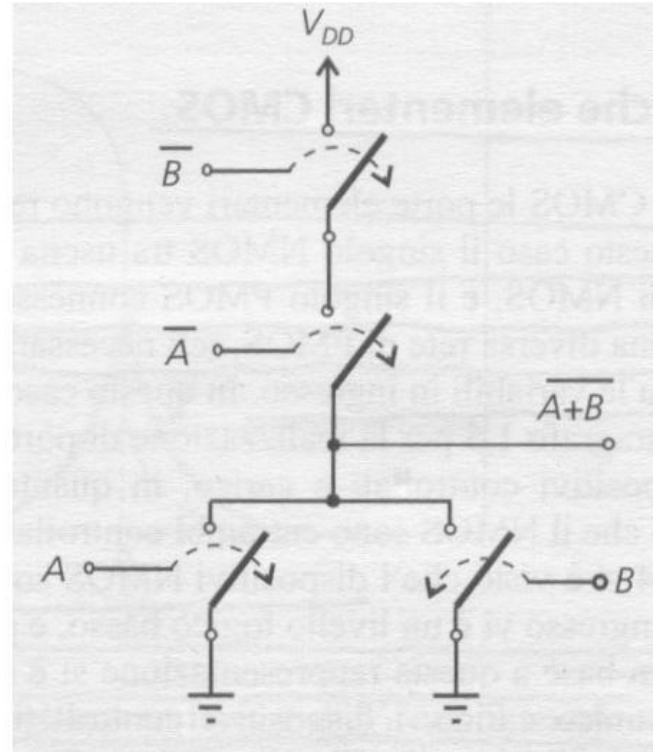
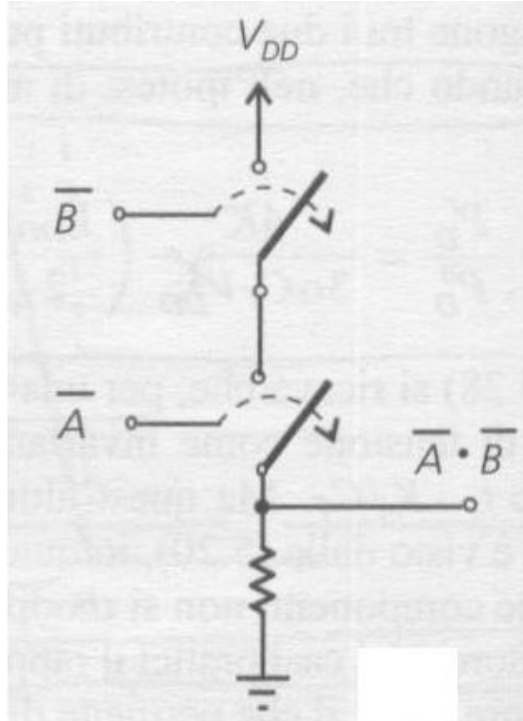
# Porta OR



# Porta AND



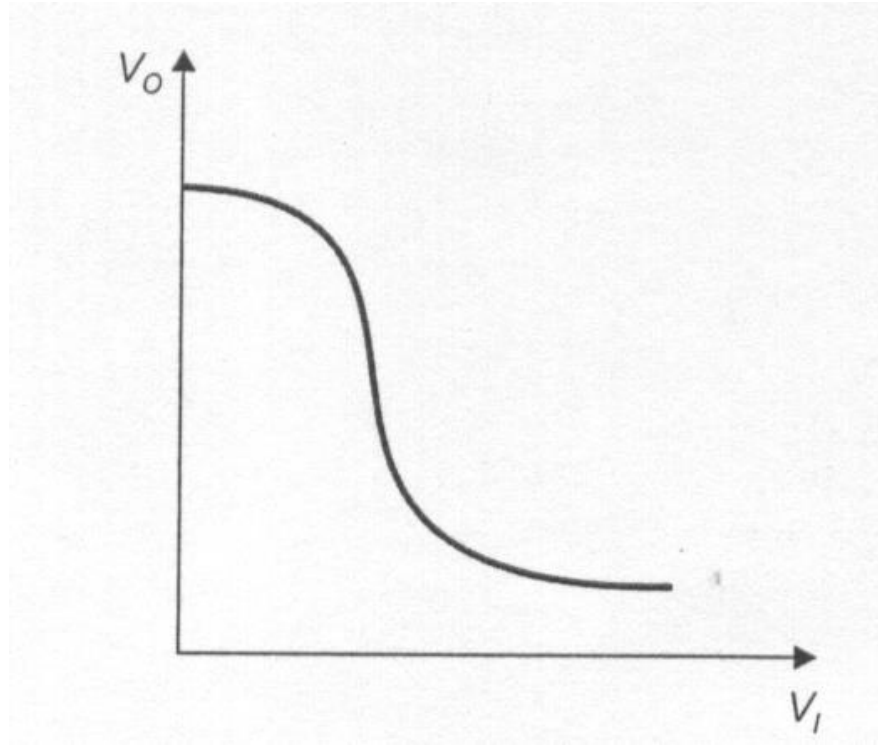
# Porta NOR



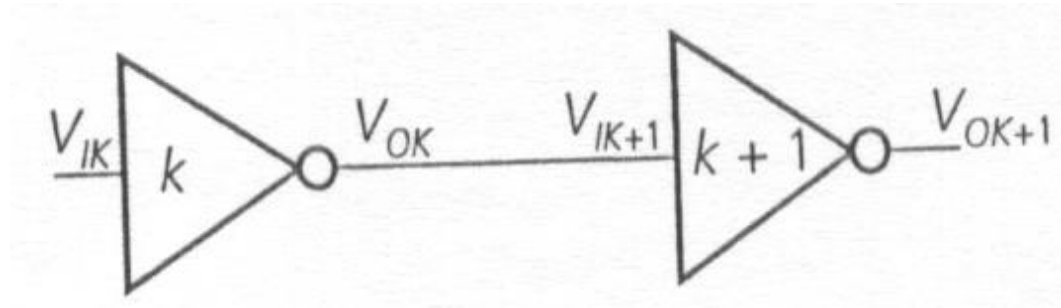
## Vedere:

- Paolo Spirito, “Elettronica Digitale”, Ed. McGraw-Hill
  - Cap. 1.1, 1.3, 1.4

# Invertitore Reale



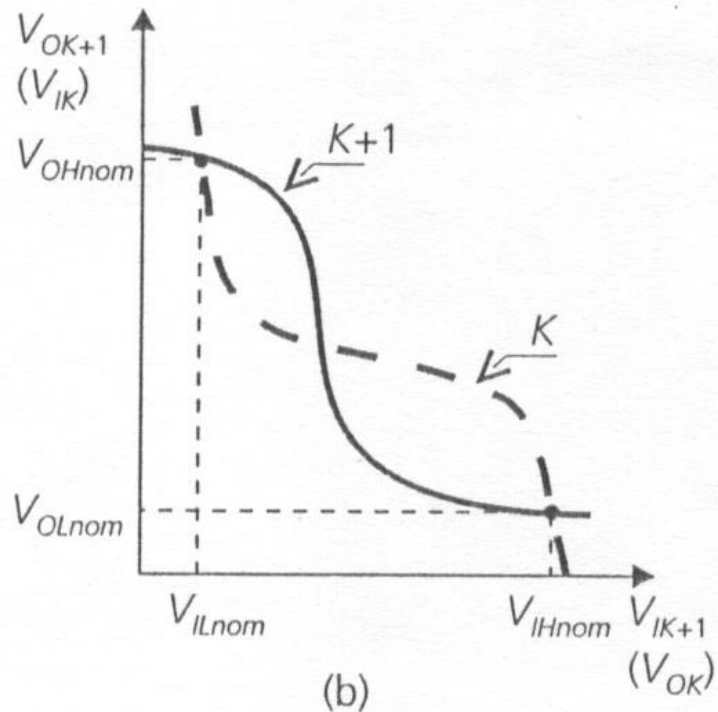
## Livelli logici nominali



Vorremmo:  $V_{O,K+1} = V_{I,K}$



# Livelli logici nominali



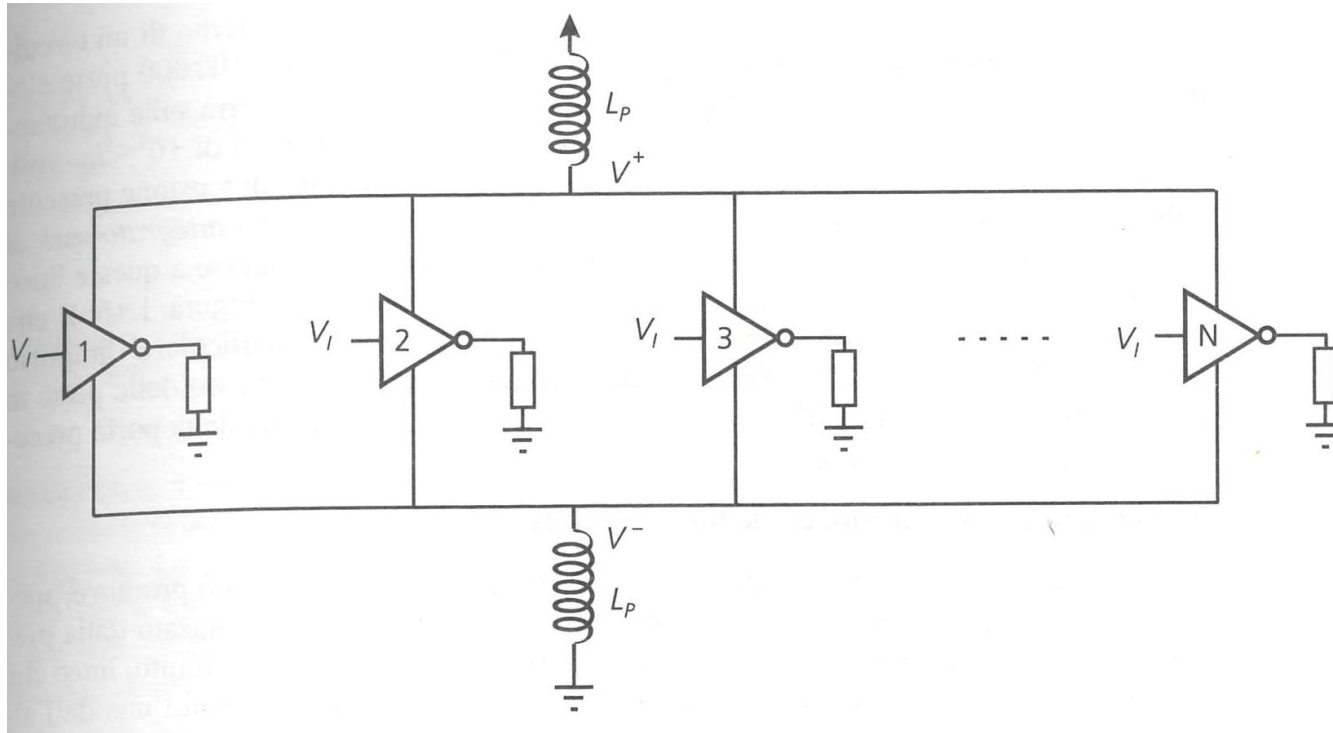
# Il Rumore

Dovuto principalmente a cause interne al circuito.

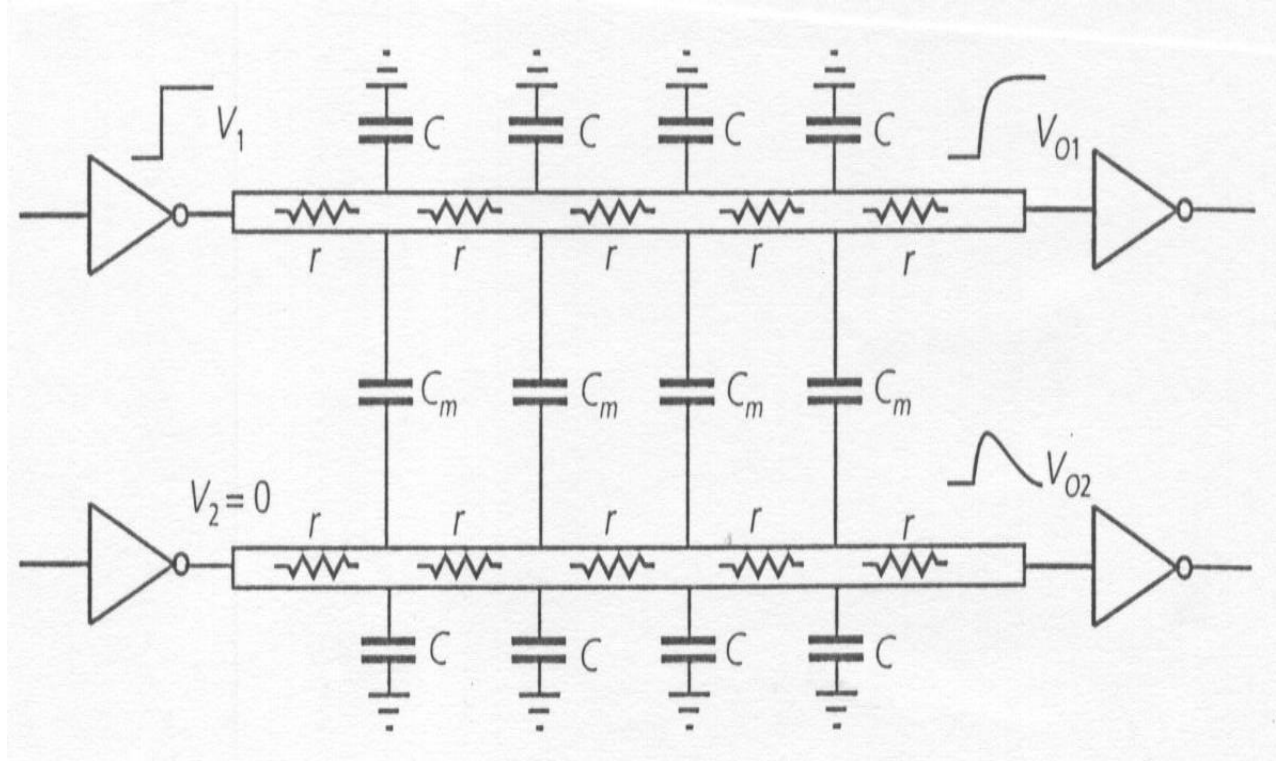
Cause:

- Variazioni di tensione sulle linee di alimentazione e massa dovute ad assorbimenti di corrente variabili ed alla resistenza e all'induttanza delle piste elettriche.
- Accoppiamenti mutui tra le linee di interconnessione.

# Induttanza linee alimentazione e massa



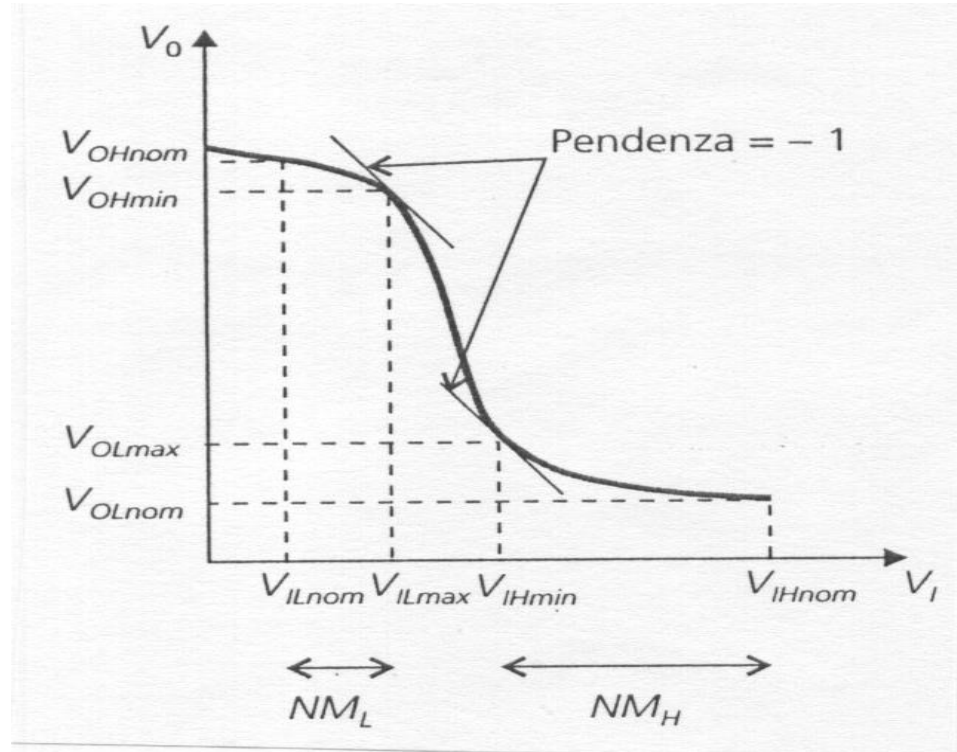
# Accoppiamento mutuo tra le linee



## Livelli limite

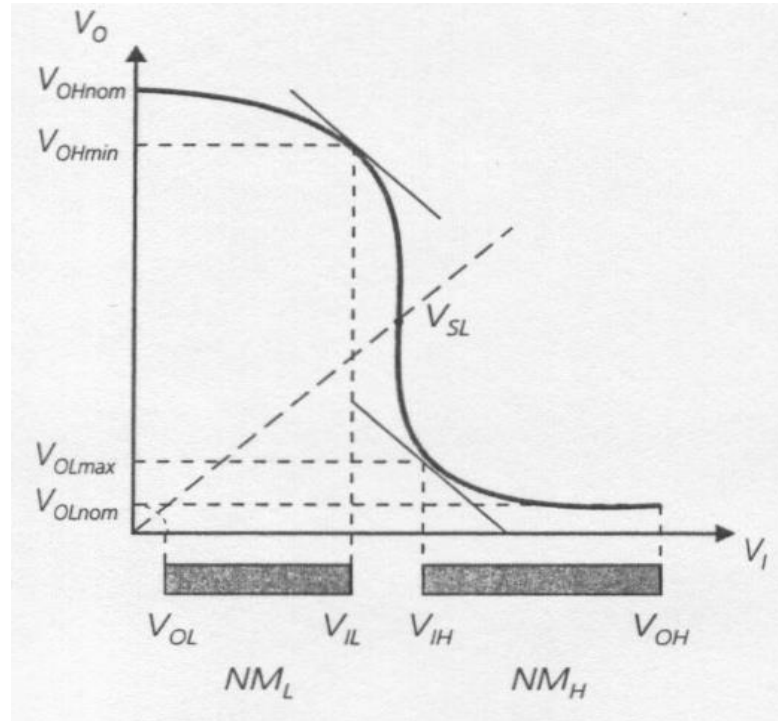
- $V_{ILmax}$  è il massimo valore della tensione di ingresso per cui l'uscita è ancora a livello logico alto, corrispondente al punto con tangente a pendenza -1
- $V_{IHmin}$  è il minimo valore della tensione di ingresso per cui l'uscita è ancora a livello logico basso, corrispondente al punto con tangente a pendenza -1

# Livelli limite e margini di rumore

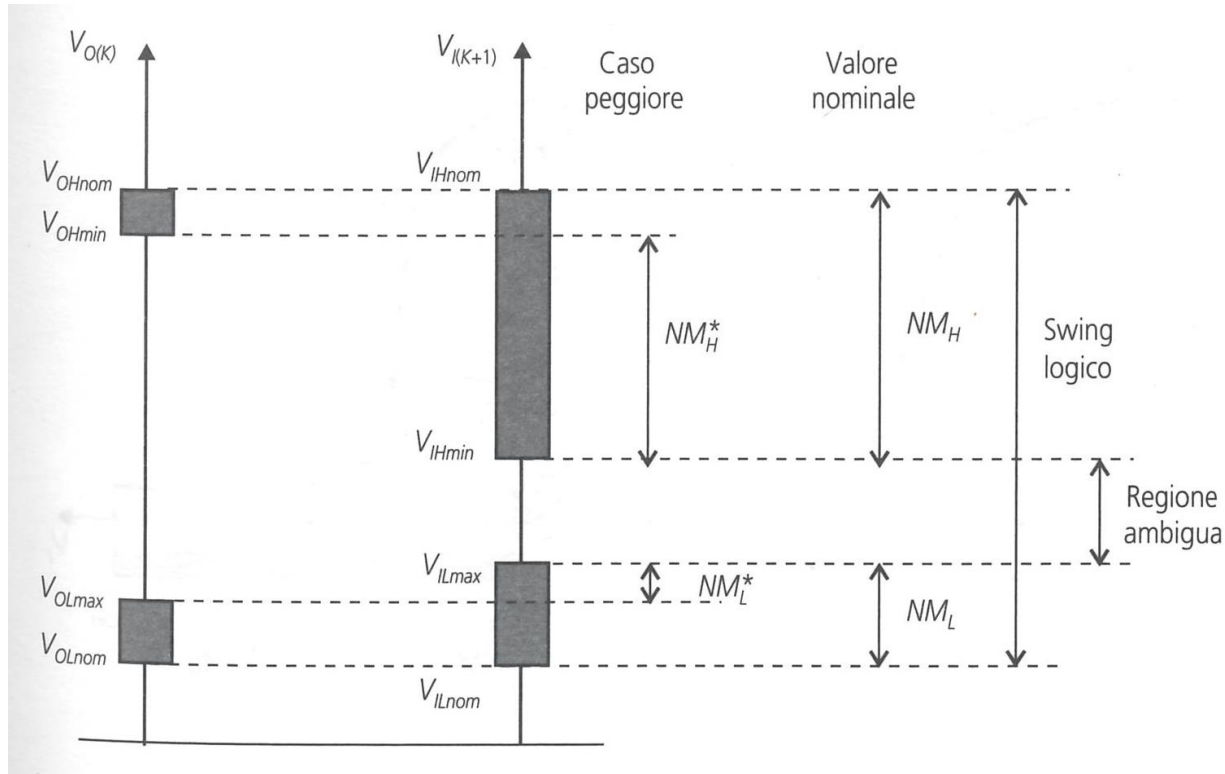


# Margini di rumore

- $NM_H = V_{IH,nom} - V_{IH,min}$
- $NM_L = V_{IL,min} - V_{IL,nom}$



# Livelli limite e margini di rumore

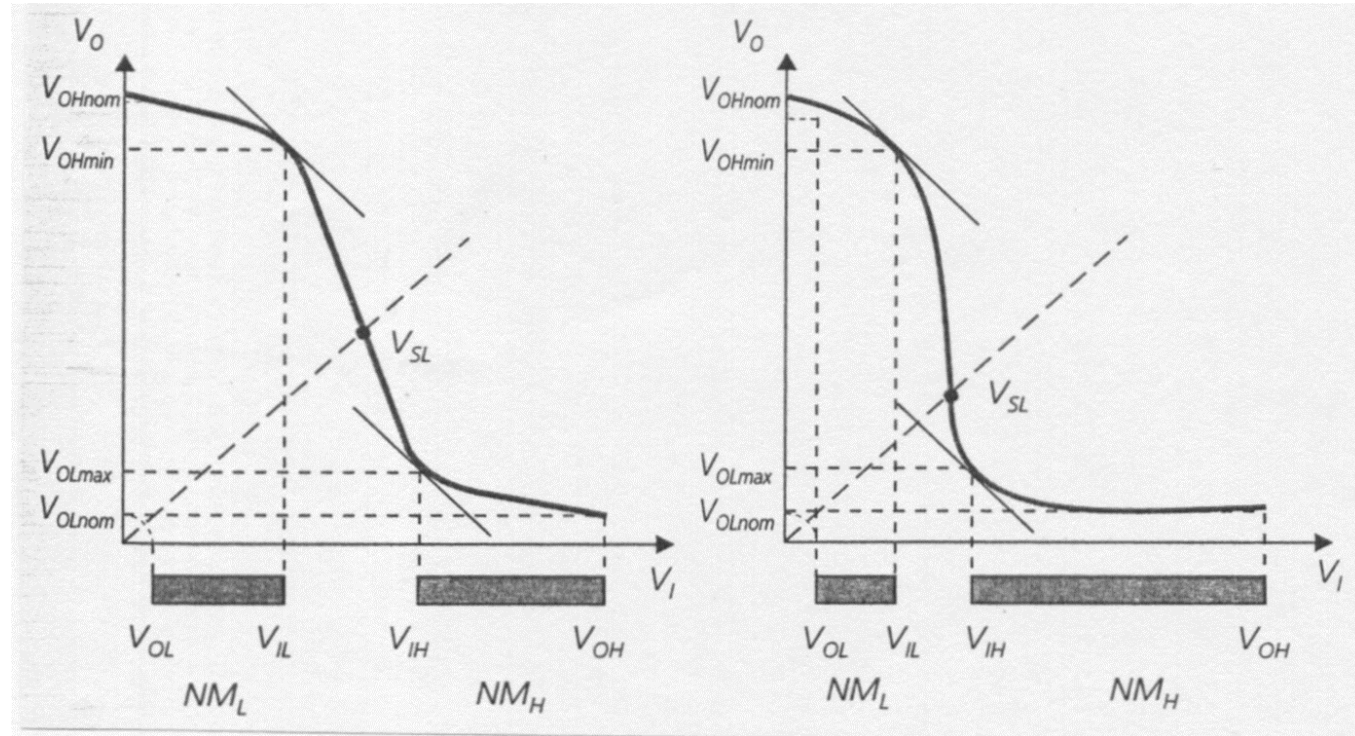




# Convenzioni

- $V_{OL,nom} = V_{IL,nom} = V_{OL}$
- $V_{OH,nom} = V_{IH,nom} = V_{OH}$
- $V_{IL,max} = V_{IL}$
- $V_{IH,min} = V_{IH}$
- Swing logico :  $V_{OH} - V_{OL}$
- Regione ambigua :  $V_{IH} - V_{IL}$

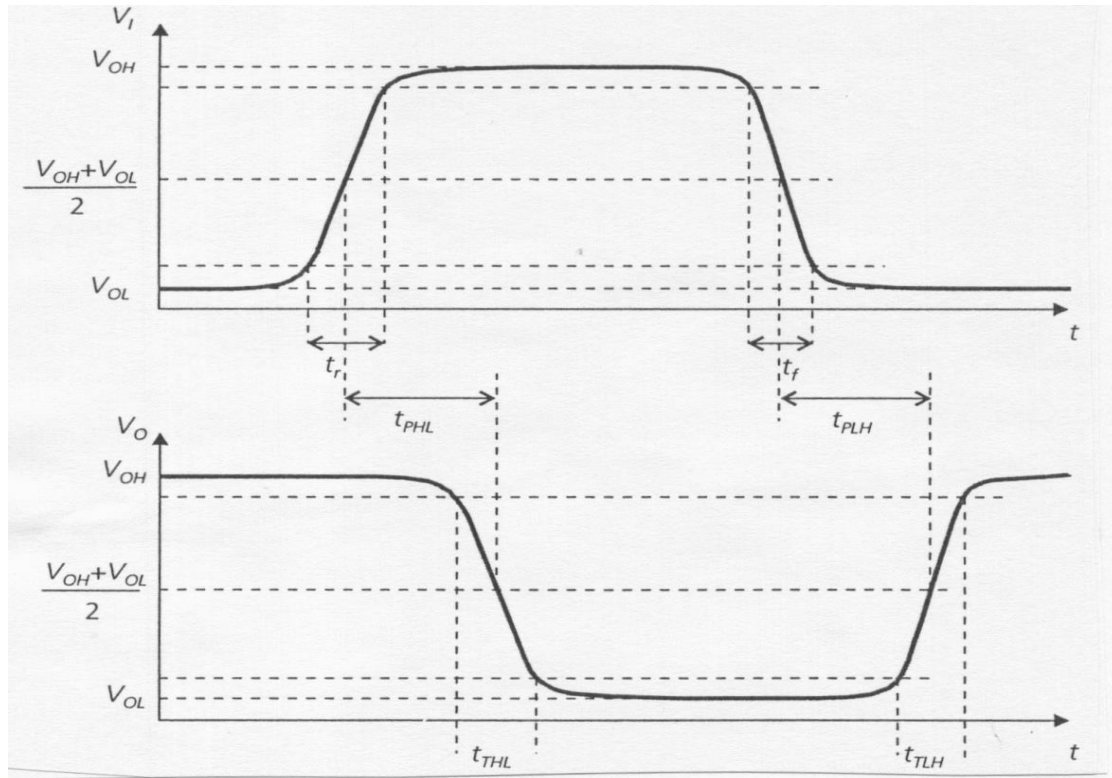
# Margini di rumore – parametri di influenza



# Caratteristiche ideali

- Soglia logica prossima a  $V^+/2$
- Caratteristica simmetrica
- Regione ambigua il piu' possibile ridotta
- Margini di rumore il piu' possibile ampi

# Caratteristiche dinamiche



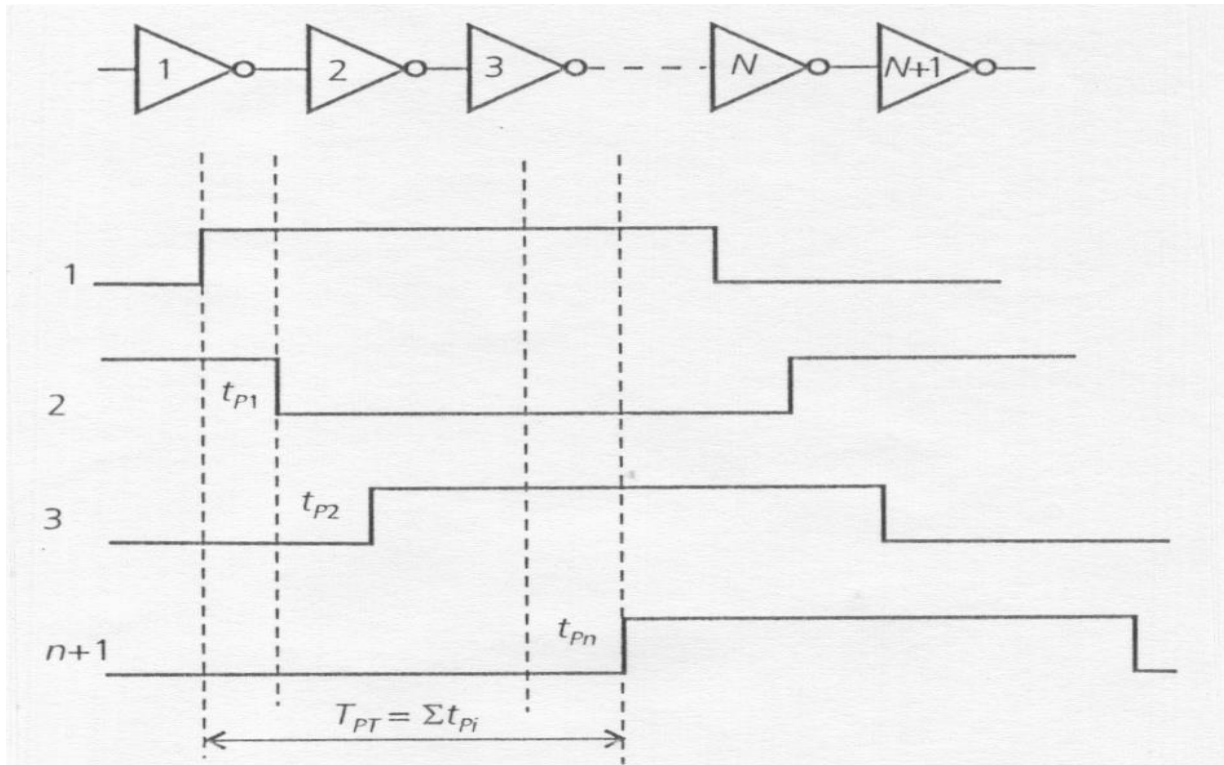
## Tempi di salita e di discesa – Tempi di transizione

- Il **tempo di salita**  $T_R$  è il tempo necessario affinché il segnale di ingresso passi dal 10% al 90% dell'escursione logica.
- Il **tempo di discesa**  $T_F$  è il tempo necessario affinché il segnale di ingresso passi dal 90% al 10% dell'escursione logica.
- Il **tempo di transizione alto-basso**  $T_{THL}$  è il tempo necessario affinché il segnale di uscita passi dal 90% al 10% dell'escursione logica.
- Il **tempo di transizione basso-alto**  $T_{TLH}$  è il tempo necessario affinché il segnale di uscita passi dal 10% al 90% dell'escursione logica.

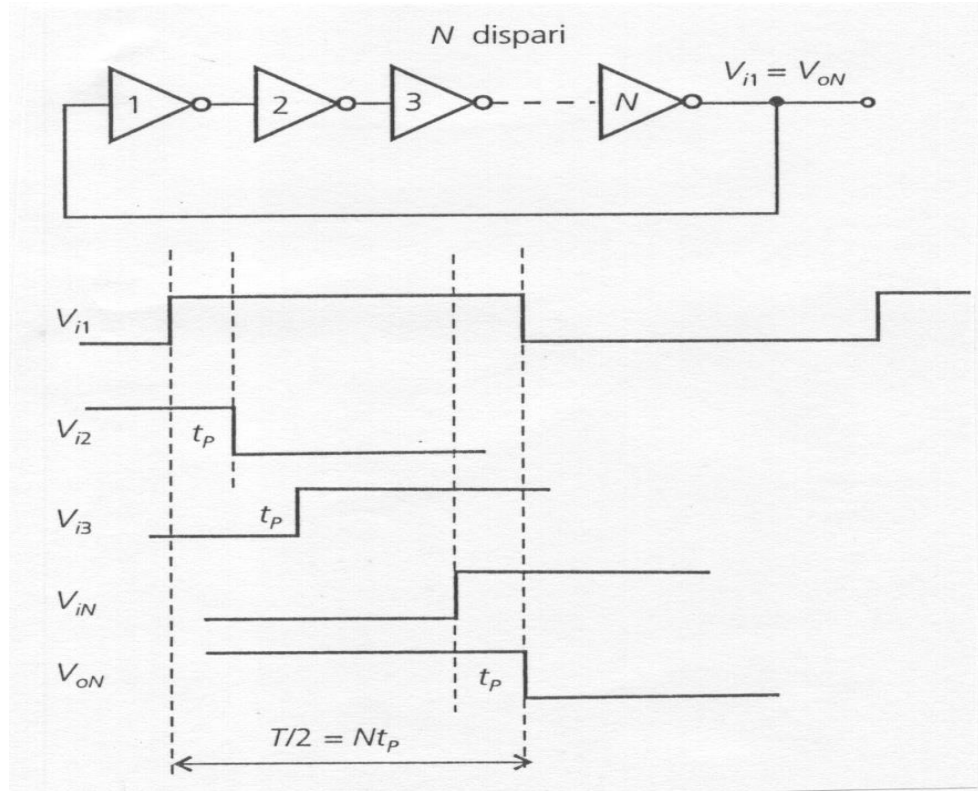
# Tempi di propagazione

- Con riferimento ad una transizione alto-basso dell'uscita, il **tempo di propagazione alto-basso**  $T_{PHL}$  è il tempo che intercorre tra l'istante in cui l'ingresso passa per il 50% dello swing logico e l'istante in cui l'uscita raggiunge il 50% dello swing logico.
- Con riferimento ad una transizione basso-alto dell'uscita, il **tempo di propagazione basso-alto**  $T_{PLH}$  è il tempo che intercorre tra l'istante in cui l'ingresso passa per il 50% dello swing logico e l'istante in cui l'uscita raggiunge il 50% dello swing logico.
- **Ritardo di propagazione**  $T_p = ( T_{PHL} + T_{PLH} ) / 2$

# Additività del ritardo di propagazione



# Misura del ritardo di propagazione





## Potenza dissipata

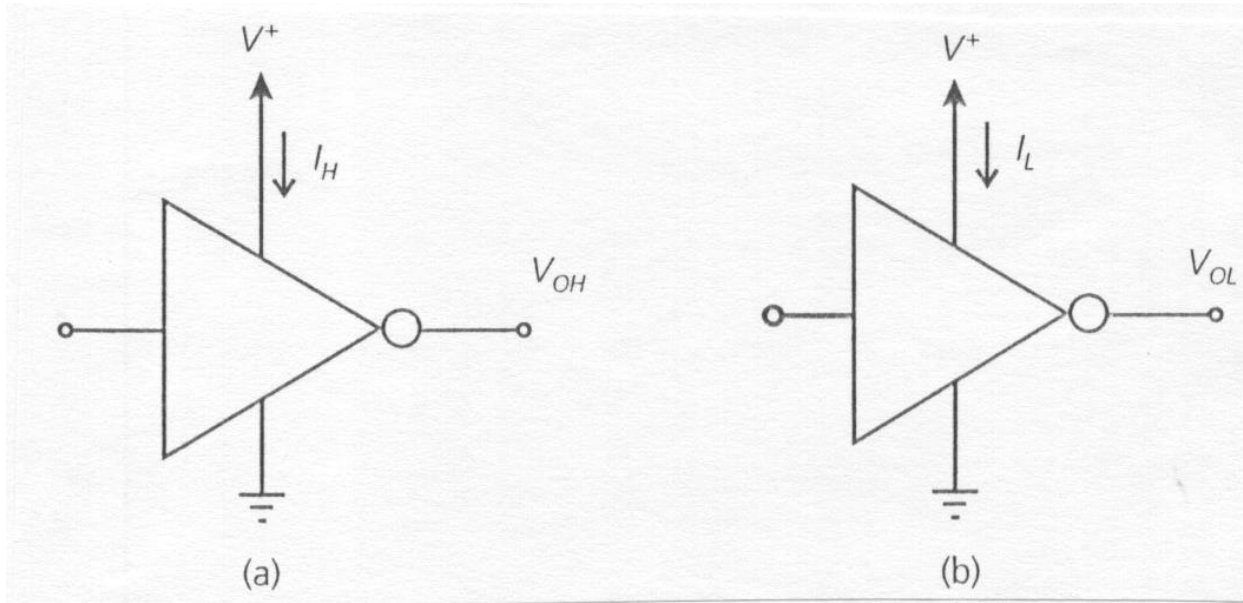
- Potenza media fornita dall'alimentatore e assorbita dalla porta nel suo funzionamento

$$P_D = \frac{1}{T} \int_T V^+ i dt$$

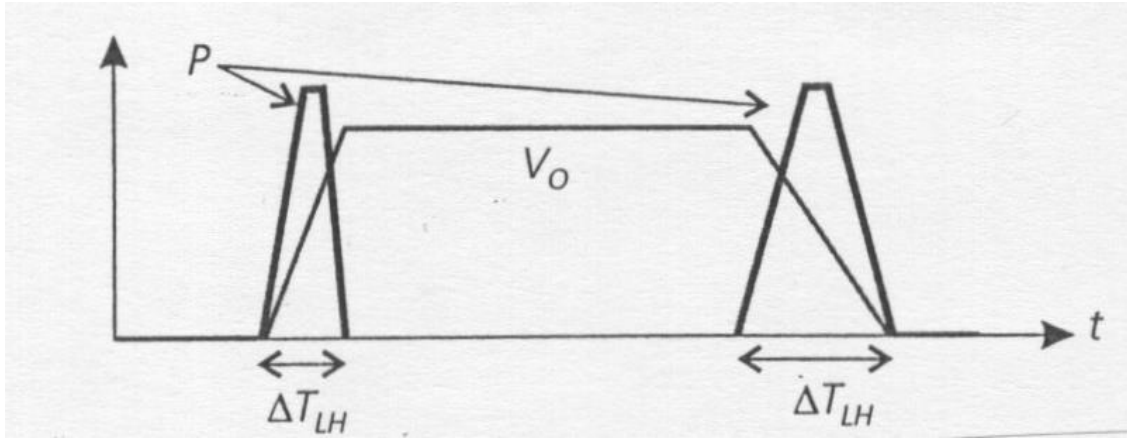
- Dissipazione di potenza statica.
  - Potenza assorbita dal circuito nei due stati stazionari, alto e basso.
- Dissipazione di potenza dinamica.
  - Avviene nelle transizioni tra i due stati logici.

## Dissipazione di potenza statica

$$P_{DS} = V^+ \frac{I_H T_1 + I_L T_2}{T_1 + T_2} = V^+ \frac{I_H + I_L}{2}$$



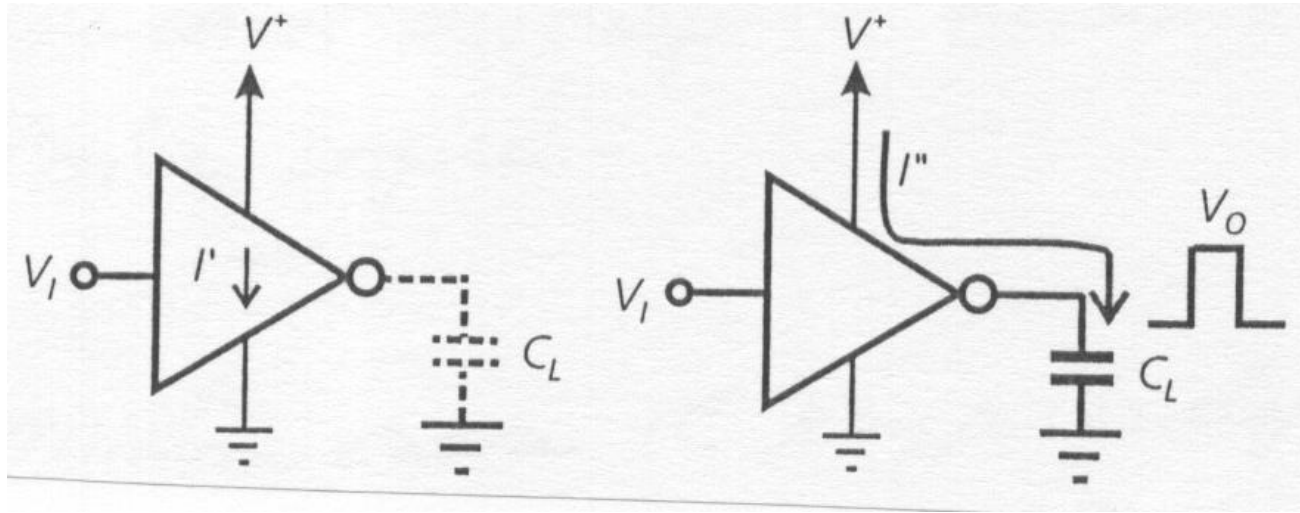
## Dissipazione di potenza dinamica



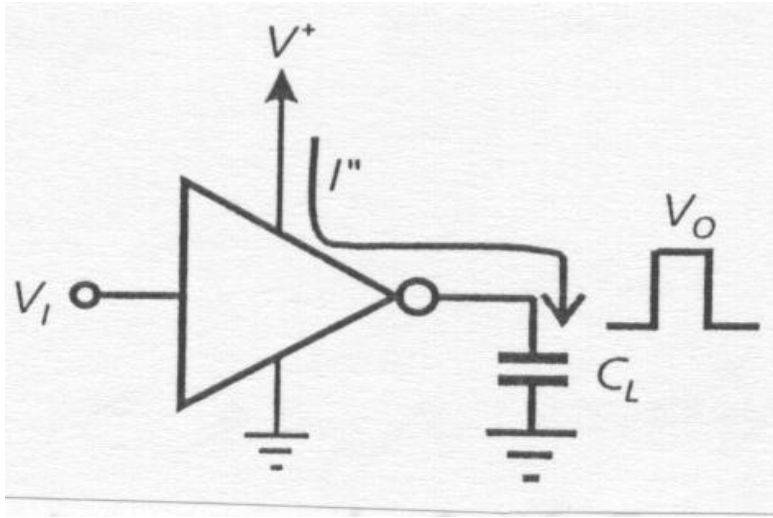
$$P_{Dd} = \frac{1}{T} \left[ \int_{\Delta T_{HL}} V^+ i dt + \int_{\Delta T_{LH}} V^+ i dt \right]$$

## Dissipazione di potenza dinamica

- Due componenti:
  - componente assorbita dall'invertitore per cambiare di stato
  - componente necessaria a caricare la capacità  $C_L$  che costituisce il carico in uscita



## Potenza necessaria per caricare $C_L$

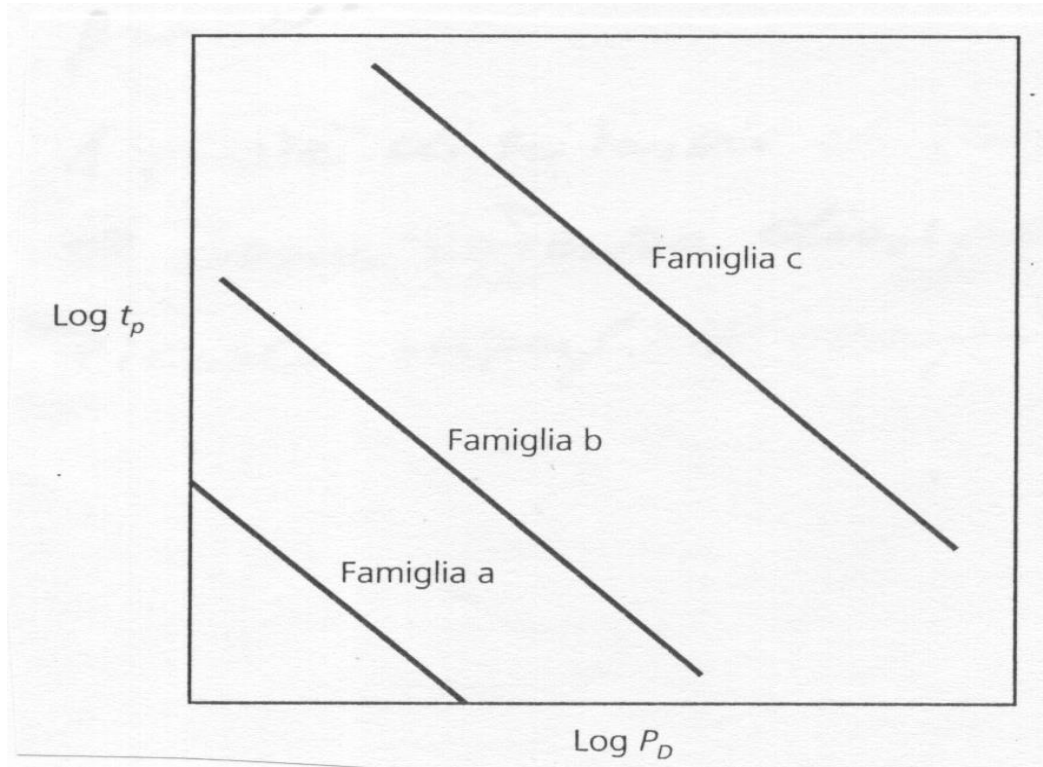


Ipotesi:  $V_{OL} = 0$      $V_{OH} = V^+$

$$E_{LH} = V^+ \int_{\Delta T_{LH}} i \, dt$$
$$= V^+ Q_C = V^{+2} C_L$$

$$P_{Dd} = f E_{LH} = f C_L V^{+2}$$

# Prodotto ritardo-potenza



## Fan-out e Fan-in

- Il **fan-out** è il massimo numero di porte logiche (uguali a quella considerata) che possiamo collegare in uscita ad una data porta mantenendo la degradazione del segnale di uscita entro limiti accettabili.
- Il **fan-in** è il massimo numero di ingressi che il circuito in esame può accettare mantenendo la degradazione del segnale di uscita entro limiti accettabili.

# Obiettivi di progetto di una porta logica

1. Minimizzare il range indefinito e massimizzare i margini di rumore.
2. Realizzare un dispositivo unidirezionale: variazioni della tensione di uscita non devono influenzare l'ingresso.
3. I livelli d'uscita devono essere compatibili con l'ingresso.
4. Il fan-out ed il fan-in devono essere i più grandi possibili.
5. La porta logica deve dissipare la minor potenza possibile e occupare un area di silicio minima.



## Vedere:

- Paolo Spirito, “Elettronica Digitale”, Ed. McGraw-Hill
  - Cap. 1.6