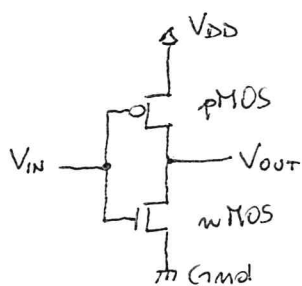
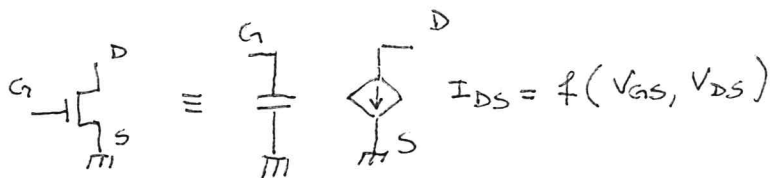


Come è fatta la tecnologia più diffusa (CMOS)?



invertitore

Che comportamento hanno i "transistori" nello schema?



Qual è la funzione che indica la  $I_{DS}$ ?

In prima approssimazione:  $(V_S < V_D \text{ sempre})$

se  $V_{GS} < V_{TM}$   $I_{DS} = \phi$  resistenza infinita, interruttore aperto

se  $V_{GS} > V_{TM}$

→  $V_{GD} > V_{TM}$

$$I_{DS} = K_n V_{DS} \left( \frac{V_{GS} + V_{GD} - 2V_{TM}}{2} \right)$$

se  $V_D = V_S = \phi$

$$I_{DS} = K_n (V_G - V_T) \cdot V_{DS}$$

resistenza bassa, pari a  $\frac{1}{K(V_G - V_T)}$   
interruttore chiuso

→  $V_{GD} < V_{TM}$

$$I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TM})^2$$

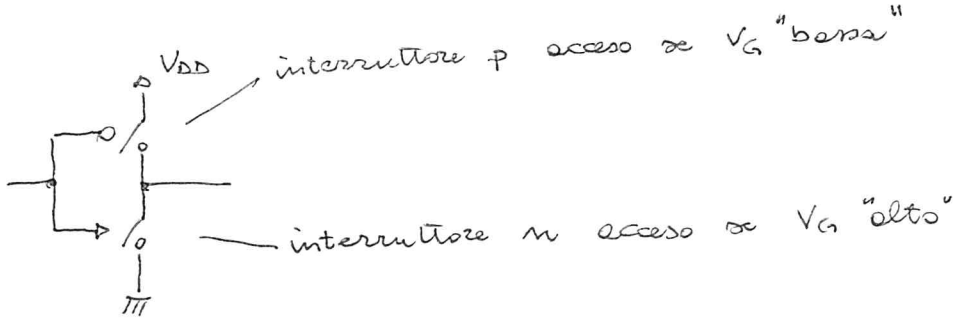
indipendente da  $V_{DS}$ !

Il PMOS ha comportamento simile, ma con i segni di  $V_{TP}$  e  $K_p$  invertiti (e pure i segni delle disuguaglianze)

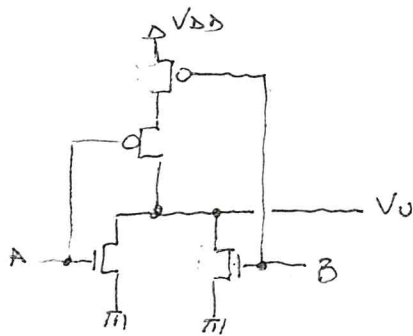
## Analisi di circuiti elettronici logici

- L'analisi "rigorosa" di circuiti simili a quello (approssimato) introdotto è complessa e sarà oggetto di altri corsi
- ci accontentiamo di versioni ancora più semplici, che ci permettano di capire la funzionalità logica di reti digitali

### MODELLO A INTERROTORI



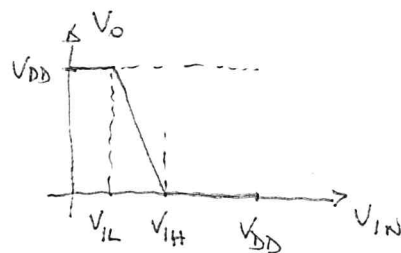
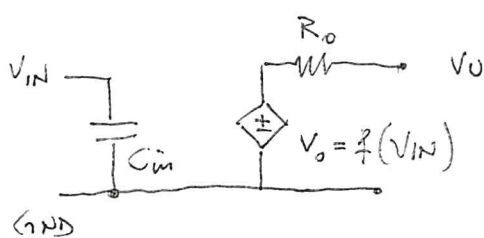
esempio: la porta NOR



- È sufficiente che  $V_A$  oppure  $V_B$  siano alte che  $V_O = 0$
- Se  $V_A$  e  $V_B$  sono basse  $V_O = V_{DD}$

- Sarà molto utile per capire la funzionalità logica di reti "reali", da data-sheet. Ci permetterà di capire funzionalità avanzate come le OPEN DRAIN e TRI-STATE (vedi poi)

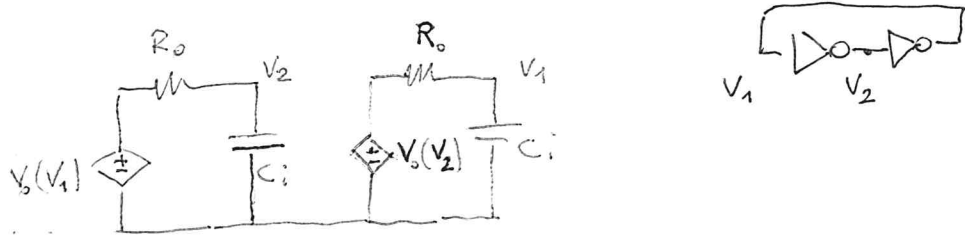
### MODELLO SEMILINEARE (invertitore)



- Utile per prevedere il comportamento "dinamico" dei circuiti logici (in modo "MOLTO" approssimato)

• Funzione OR:  $V_O = f[\max(V_{IN_i})]$

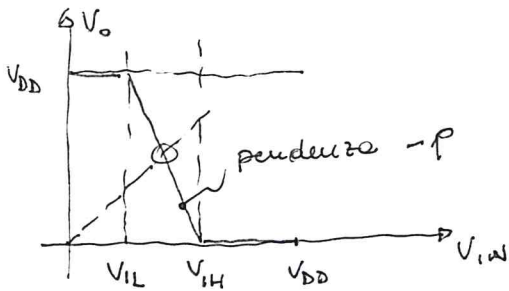
AND:  $V_O = f[\min(V_{IN_i})]$



Eseminiamo le condizioni limite

- $V_1 = \emptyset$     $V_2 = V_{DD}$    coerente, stabile (una  $V_1$  non cambia nulla)
- $V_1 = V_{DD}$     $V_2 = \emptyset$    coerente, stabile

• Esiste una ulteriore condizione di equilibrio, quella per cui  $V_o = V_{in}$



tratto lineare

$$V_o = V_{DD} - \left( \frac{V_{in} - V_{IL}}{V_{IH} - V_{IL}} \right) \cdot V_{DD} = V_{DD} \frac{V_{IH} - V_{in}}{V_{IH} - V_{IL}}$$

intersezione

$$V'_{in} (V_{IH} - V_{IL}) = V_{DD} (V_{IH} - V'_{in})$$

$$V'_{in} = \frac{V_{DD} V_{IH}}{V_{IH} - V_{IL} + V_{DD}} \quad ; \quad V'_o = V'_{in}$$

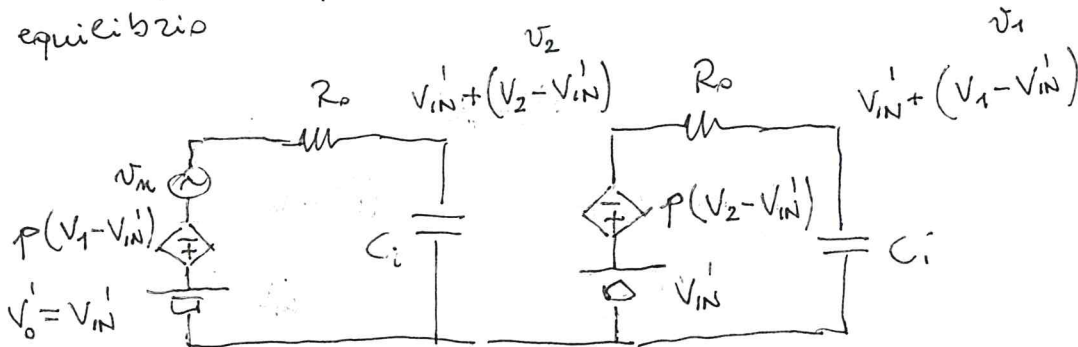
$$p = \frac{V_{DD}}{V_{IH} - V_{IL}}$$

in termini di p

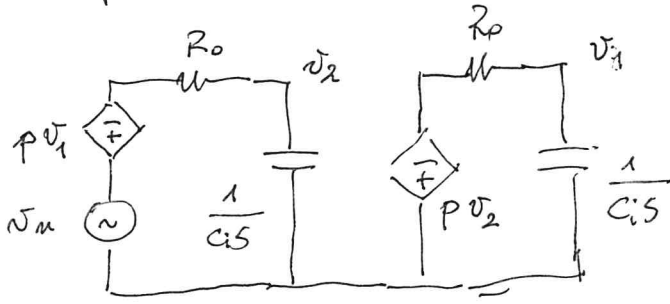
$$V'_{in} = \frac{-p V_{IH}}{1+p}$$

(forma pure geometricamente)

• che tipo di equilibrio è? Possiamo in questo punto di equilibrio



• Applico la sovrapposizione degli effetti, eliminando le componenti costanti



$$V_1 = -pV_2 \frac{1}{R_0 C_i S + 1}$$

$$V_2 = \left( V_m + p^2 V_2 \frac{1}{R_0 C_i S + 1} \right) \cdot \frac{1}{R_0 C_i S + 1}$$

$$V_2 = V_m \cdot \frac{\frac{1}{R_0 C_i S + 1}}{1 - \frac{p^2}{(R_0 C_i S + 1)^2}} = V_m \frac{(R_0 C_i S + 1)^2}{(R_0 C_i S + 1)^2 - p^2} =$$

$$= V_m \frac{(R_0 C_i S + 1)}{(R_0 C_i S + 1 + p)(R_0 C_i S + 1 - p)}$$

polo a parte reale  
positive ( $\infty p > 1$ )