

PROSEGUIAMO L'ESERCIZIO LASCIATO IN SOSPESO

22/10/2020

d) MOS N È SPENTO, COND. È C.A., IN MOS P NON CIRCOLA CORRENTE  $\Rightarrow I = 0A$

$$P_{V_{in}=0V} = 0W$$

$$P_{V_{in}=SV} = V_{DD} \cdot I = SV \cdot k(V_{GS} - V_T)^2 = 16mW$$

$\downarrow$   
SCORRE IN MOS N E P

ATTENZIONE ALLA POTENZA STATICA:

ES: DUTY CYCLE = 50%

$\Rightarrow$  PER METÀ DEL TEMPO STA A 0W E L'ALTRA METÀ A 16mW

$\Rightarrow$  HO UNA MEDIA

e) LA POTENZA DINAMICA DIPENDE DAL FATTO CHE IN UNA FASE CARICO IL CONDENSATORE E POI LO SCARICO VERSO MASSA PER COMPIERE UN MOVIMENTO DI CARICA COMPLETO DEL LAVORO:

$$E = Q \cdot \Delta V$$

AURÒ POTENZA:

$$P = Q \cdot \Delta V \cdot f_{ck} = C \cdot \Delta V_1 \cdot \Delta V_2 \cdot f_{ck}$$

$\uparrow$  PER LA NOSTRA PORTA

LA CAPACITÀ CHE QUELLA PORTA CARICA (SOLO)  
QUANTO HO AGGIUNTO AL CONDENSATORE  
"DA DOVE PARTO A DOVE ARRIVO CON LA CARICA"

IN QUESTO CASO:

$$(V_{DD}^{SU} - MASSA^{OU}) = SV$$

$$P = C \cdot \Delta V_1 \cdot \Delta V_2 \cdot f_{ck}$$

$\hookrightarrow 1MHz$

- 1)
- Calcolare  $V_{out}$  quando  $V_{in} = 0V$  e quando  $V_{in} = V_{DD}$ .
  - Considerando una capacità di carico  $C_L = 0.2pF$ , calcolare la potenza media dissipata dalla porta logica quando  $V_{IN}$  è un'onda quadra tra 0 e  $V_{DD}$  a frequenza  $f_{IN}=0.5MHz$  e duty cycle 50%.

DATI:

$$k'_n = \frac{1}{2} \mu_n C'_{ox} = 50 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = 20$$

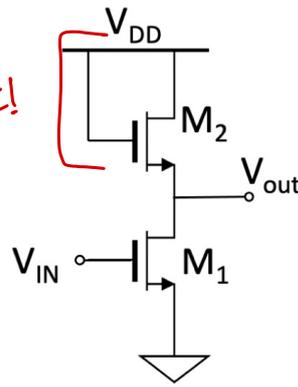
$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = 2$$

$$V_{tn1} = 0.8V$$

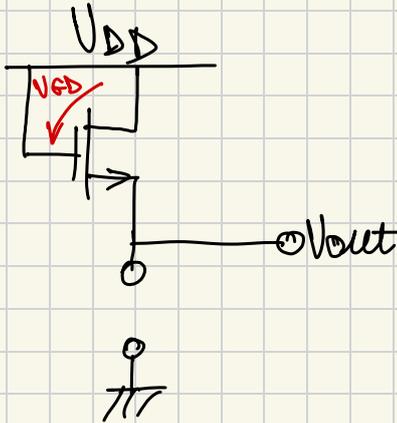
$$V_{tn2} = 1.1V$$

$$V_{DD} = 5V$$

ATTENZIONE!



$V_{in} = 0V \Rightarrow$  MOS  $M_1$  SPENTO



$$V_{GD} = 0V$$

RICORDIAMO:

SATURO: HO CANALE LATO SOURCE,  
NON HO CANALE LATO DRAIN

OHMICO: HO CANALE LATO SOURCE E  
LATO DRAIN

IN QUESTO CASO, SE È ACCESO È SATURO:

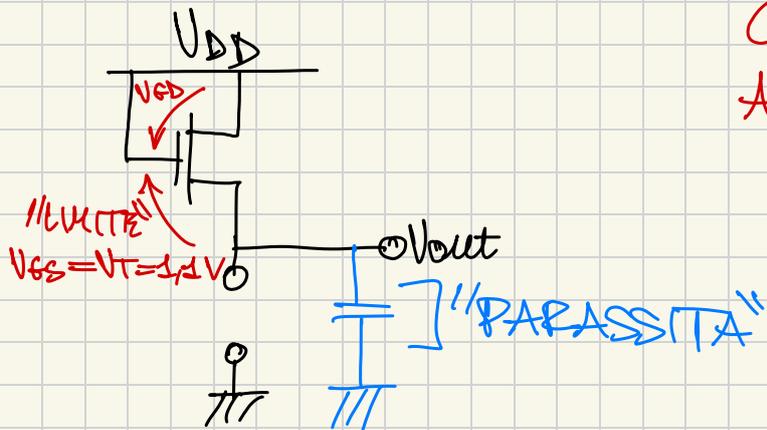


MA ATTENZIONE: QUEL  
MOS NON PUÒ PORTARE  
CORRENTE AL VUOTO  
CISTERNE INDIVIDUARE  
IL PUNTO A CORRENTE 0

$\Rightarrow V_{GS} \leq V_T$ , MA QUAL È ?

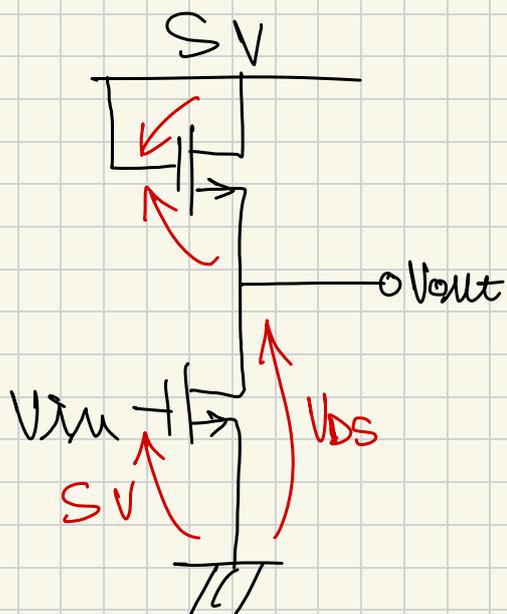
NELLA PARTE INIZIALE IL C "PARASSITA"  
SI CARICA, FINO A  $V_T$ , DA LÌ NON PASSA  
PIÙ CORRENTE  $\Rightarrow$  "LIMITE" =  $V_T$

CIRCUITO CHE RESTA SEMPRE  
A REGIME



$$\Rightarrow V_{out} = 5 - 1,1 = 3,9V$$

$$V_{in} = 5V$$



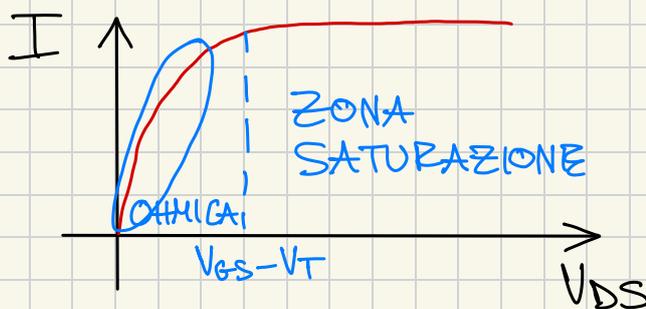
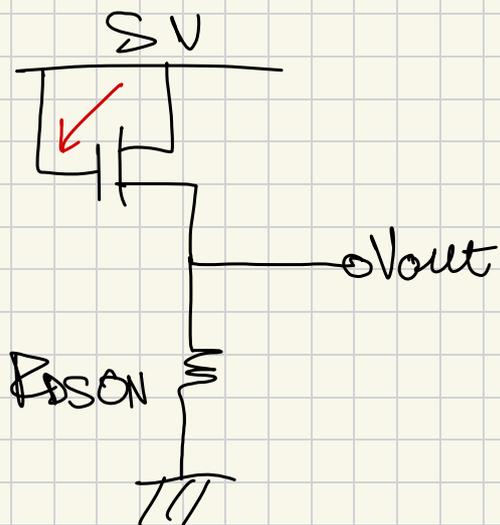
$$V_{TH1} = 0,8V$$

$V_{GS} = 5V \Rightarrow$  IL MOS  $M_1$  È ACCESO. COME?

DUE STRADE: LE EQUAZIONI (PRECISO)

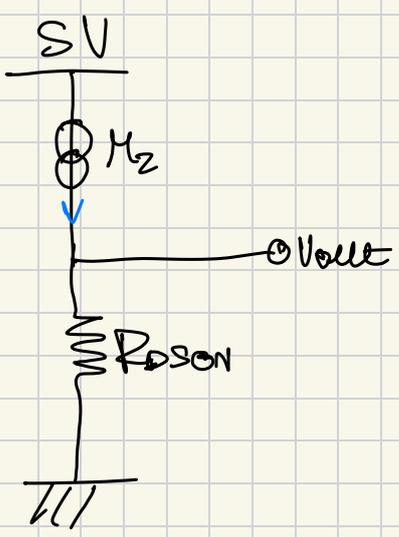
MIEGLIO:

IPOTESI OHMICA:



AL SOLITO, ASSUNZIONE  
CORRETTA SOLO PER  $V_{DS}$  BASSA

SOPRA È SATURO:



$V_G - V_S = V_{DD} - V_{out} \rightarrow 1,1V$

$V_{out} = R \cdot I = R_{DSON} \cdot k(V_{GS} - V_T)^2$

$R_{DSON} = \frac{1}{2k(V_{GS} - V_T)} = 119\Omega$

$k' \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_1$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{D2} = 100 \frac{\mu A}{V^2} (3,9V - V_{out})^2 \\ V_{out} = I_{D2} \cdot R_{DSON} \\ \downarrow \\ 119\Omega \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{R_{DSON}} = 100 \frac{\mu A}{V^2} (15,21 + V_{out}^2 - 7,8 V_{out})$$

$$\Rightarrow V_{out} = 0,012 (15,21 + V_{out}^2 - 7,8 V_{out})$$

$$\Rightarrow V_{out} = \begin{cases} 0,165V \rightarrow \text{SOLUZIONE} \\ 90V \rightarrow \text{DECISAMENTE ASSURDA} \end{cases}$$

MA ERA EFFETTIVAMENTE IN ZONA OHMICA?

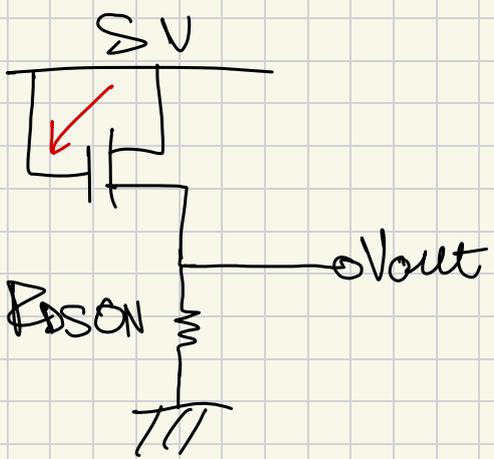
$V_{GS} = 5V, V_{DS} = 165mV, V_T = 0,8V$

$V_{DS} < V_{GS} - V_T = 4,2V \text{ (SÌ)} \Rightarrow \text{VERIFICATA}$

COME VERIFICA:

$I = k(V_{GS} - V_T)^2 = 139\mu A$

$I = \frac{V_{out}}{R_{DSON}} = 139\mu A$



b)  $P_{V_{in}=0V} = 0W$  NON PASSA CORRENTE

$P_{V_{in}=5V} = 5V \cdot 1,32\mu A$

$$P_{stat} = \frac{P_{V_{in}=0V} + P_{V_{in}=5V}}{2} = 3,475 \mu W$$

**DUTY CYCLE ← 2**  
**50%**

b) CON  $C = 0,2 pF$

$$P_{DINAMICA} = C \cdot \Delta V_1 \Delta V_2 \cdot f$$

↑ ↑ ↑ ↑  
0,2 pF 5V 0,5 MHz  
(3,9V - 0,165V) (DEVO VERIFICARE COMUTI)

- 2)
- Determinare la tabella di verità del circuito.
  - Calcolare il tempo di propagazione con  $A=0$  ed  $EN$  che commuta da  $0 \rightarrow 1$ .
  - Calcolare la potenza dinamica quando  $EN=1$  ed  $A$  è un'onda quadra ideale (livelli 0 e 1) con frequenza  $f_A=400kHz$ .

Per **CONVENZIONE**, salvo diversamente indicato, si assume che il livello logico "0" corrisponda ad una tensione di 0V mentre il livello logico "1" ad una tensione pari a  $V_{DD}$ .

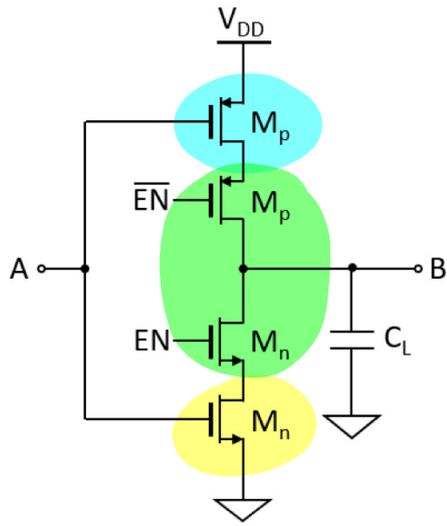
**DATI:**

$$k_p = \frac{1}{2} \mu_p C'_{ox} \frac{W}{L} = 380 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$k_n = \frac{1}{2} \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} = 380 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$V_{tn} = |V_{tp}| = 1V$$

$$V_{DD} = 5V$$

$$C_L = 4pF$$


È UNA PORTA CMOS? **NON** CI DEVE ESSERE **MAI** UN PERCORSO CONDUTTIVO TRA  $V_{DD}$  E MASSA (PER NON DISPERDERE POTENZA)

SE L'ULTIMO MOS N È ACCESO, A È ALTO ⇒ PRIMO MOS È APERTO

IDUE MOS CENTRALI SONO INVECE "COLLEGATI" (ENTRAMBI ON/OFF)

"ALTA IMPEDENZA"

a)  $\overline{EN}$   $\rightarrow$  È "L'ABILITAZIONE" DELL'USCITA

$\overline{EN}$	A	B
1	1	0
1	0	1
0	1	HZ
0	0	HZ

CORTO DI ●

ALTA IMPEDENZA:

DISCONNESSA / "FLOTTANTE"

$\rightarrow$  "LEGGERE L'USCITA (BUS)"

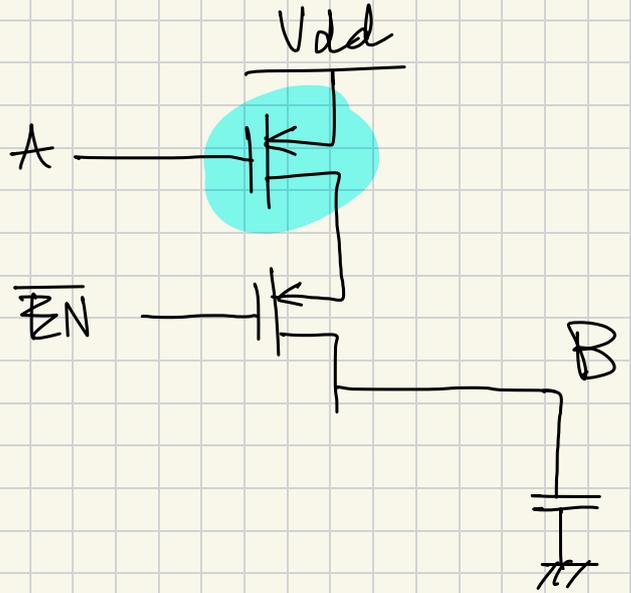
c) SE  $\overline{EN} = 0$ , L'USCITA È FLOTTANTE (NON COMPLETA) ( $P = 0$ )

MA QUI  $\overline{EN} = 1$

$\Rightarrow P = C \cdot \underbrace{V_{dd}}_{\text{QUI SI!}} \cdot f_{ck}$

$\downarrow$   $\mu\text{PF}$                        $\downarrow$   $100\text{KHz}$

b)  $A = 0 \Rightarrow$  ● SPENTO    ● IN BASSO È FLOTTANTE!



$\Rightarrow$  ● ACCESO

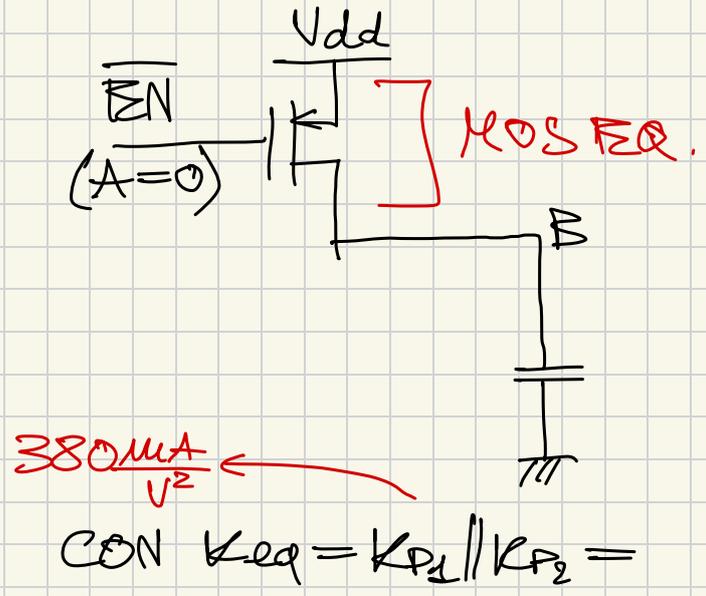
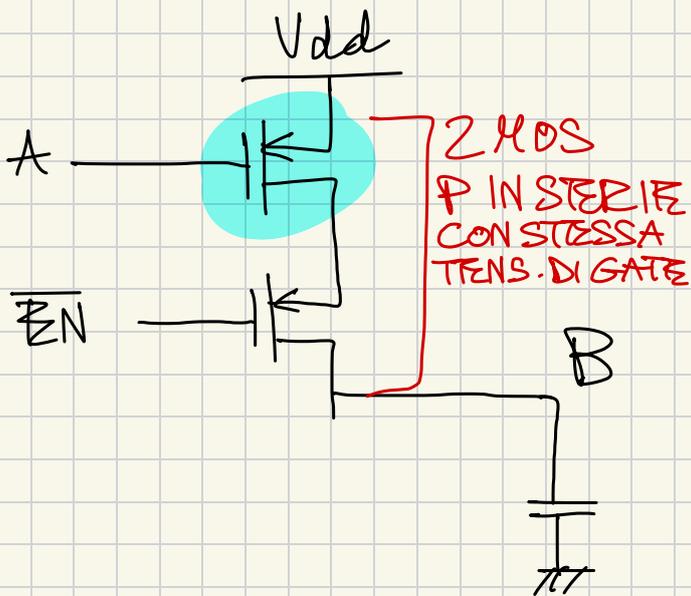
$\overline{EN}$  ERA A 1 (USCITA ERA FLOTTANTE)

ORA, CHIUDO ( $\overline{EN}$  VA A 0)

EFFETTIVAMENTE, NON MI È STATO DETTO

IL VALORE DELL'USCITA PRECEDENTE  
 CASO MIGLIORE: USCITA A 5V (SONO GIÀ A REGIME)  
 CASO PIÙ PESSIMO: ERA A 0V (HO ATTIVATO UN PERCORSO  
 CONDUTTIVO  $\Rightarrow$  LO DEVO  
 CARICARE)

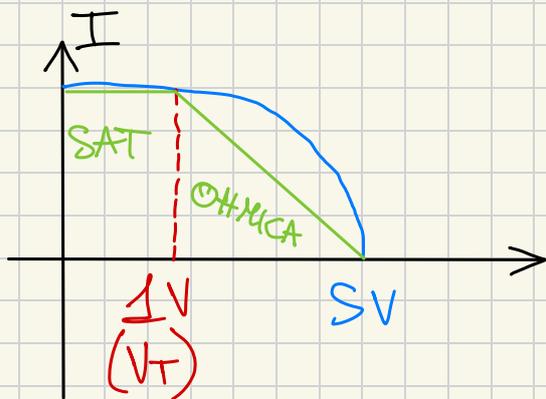
COME MI RICONDUKO AL CASO DELL'INVERTER?



$$= \frac{1}{2} k_p$$

(INTUITIVO: LA PIÙ "LUNGA",  
 "PORTA" LA METÀ)

CARICA:

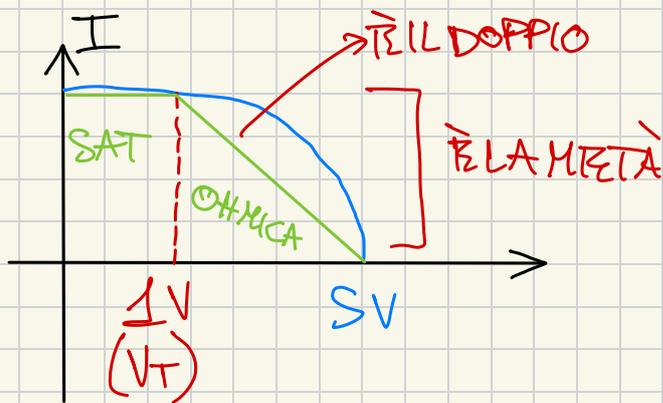


TUTTE LE VOLTE MI  
 DOVRÒ RICONDURRE  
 A QUESTO!

(COME GIÀ VISTO...)

RISPETTO ALL'INVERTER STANDARD, COM'È IL TEMPO DI  
 COMUTAZIONE?

DOPPIO, INNANZITUTTO PER IL  $k$  CHE È LA METÀ  $\Rightarrow$  METÀ  
 CORRENTE



⇒ DOPPIO DEL TEMPO

CIÒ VALE SEMPRE! IL K MIDICTE QUANTO È PIÙ VELOCE/LENTO DELL' INVERTER

- 3)
- Determinare la funzione logica svolta dal circuito in figura
  - Calcolare la tensione di uscita  $V_{OUT}$  e la potenza statica dissipata nelle condizioni  $A=B=C=V_{DD}$  e  $A=B=C=0V$
  - Sostituire la resistenza con una opportuna rete costituita da soli pmos al fine di realizzare una porta CMOS
  - Calcolare il tempo di propagazione quando gli ingressi commutano dalla configurazione  $ABC=000$  ad  $ABC=110$  ed in uscita è connessa una capacità da  $10pF$
  - Calcolare la potenza dinamica dissipata quando  $BC = 11$  ed  $A$  commuta con una frequenza di  $1MHz$  e in uscita è connessa una capacità da  $10pF$

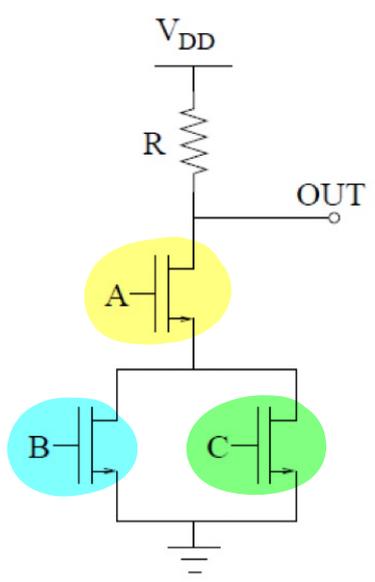
**DATI:**

$k_n = 1 \frac{mA}{V^2}$

$V_{tn} = 1V$

$V_{DD} = 5V$

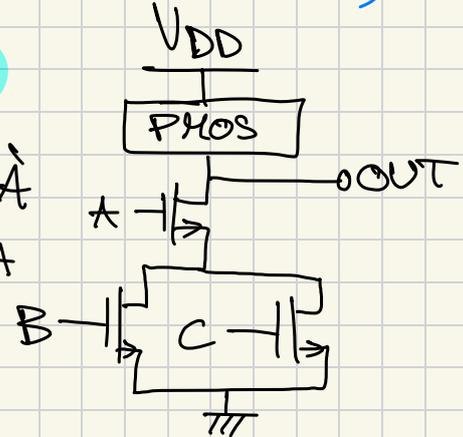
$R = 5k\Omega$



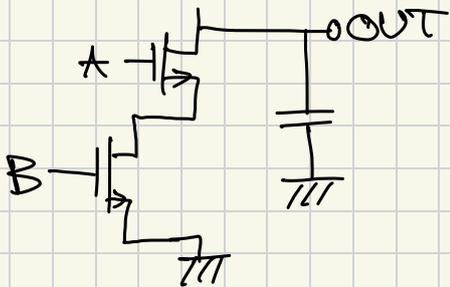
d) VERIFICHIAMO SUBITO EFFETTIVAMENTE OUT COME COMUTI DA PUNTO c)

$A=0, B=0, C=0$  SPENTI

SOTTO È SPENTO, CI PENSERÀ LA RETE PMOS A TRARLA SÙ



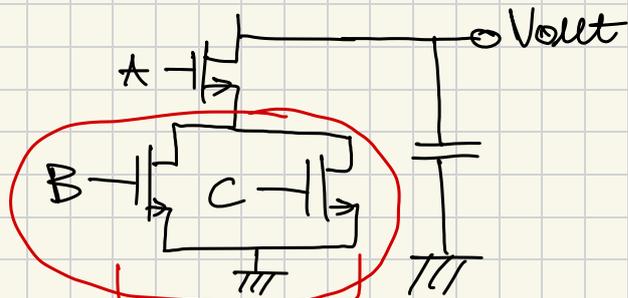
⇒ IL PUNTO DI PARTENZA È L'USCITA ALTA  
 POI, A, B ACCESI E C SPENTO  
 HO UN PERCORSO CONDUTTIVO DA OUT A  
 MASSA, LA RETTE PMOS PERÒ SARÀ SPENTA



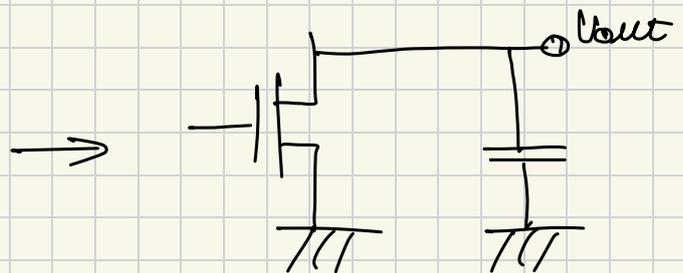
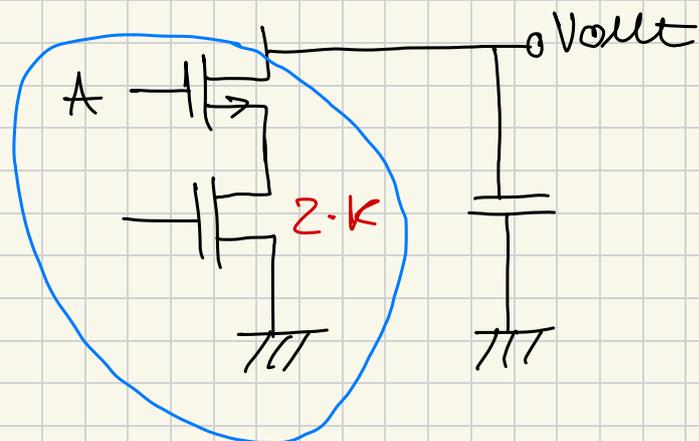
MA COM'È IL TEMPO DI  
 COMPUTAZIONE DI QUESTO  
 RISPETTO ALL'INVERTER?  
 IL  $k_{EQ}$  È LA METÀ ⇒ PORTO  
 METÀ CORRENTE  
 TEMPO È IL DOPIO

E SE ANDASSI NELLA CONFIGURAZIONE 111?

DOBBIAMO, COME NELLE  
 RESISTENZE  
 DELL'ELETTROTECNICA,  
 SEMPLIFICARE



SEMPLIFICO IL PARALLELO

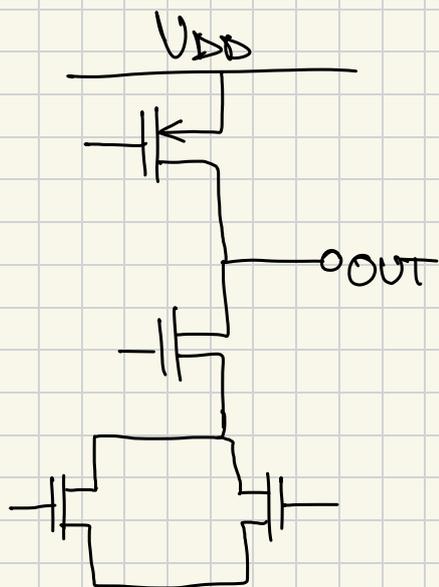
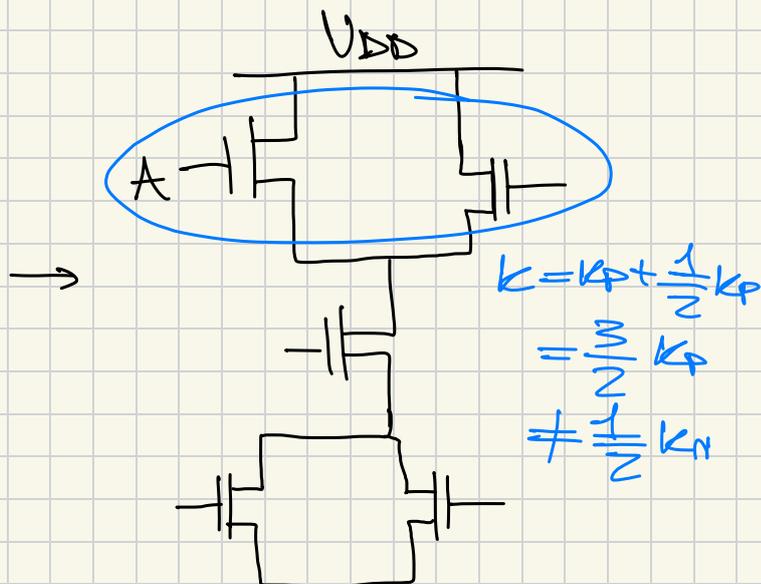
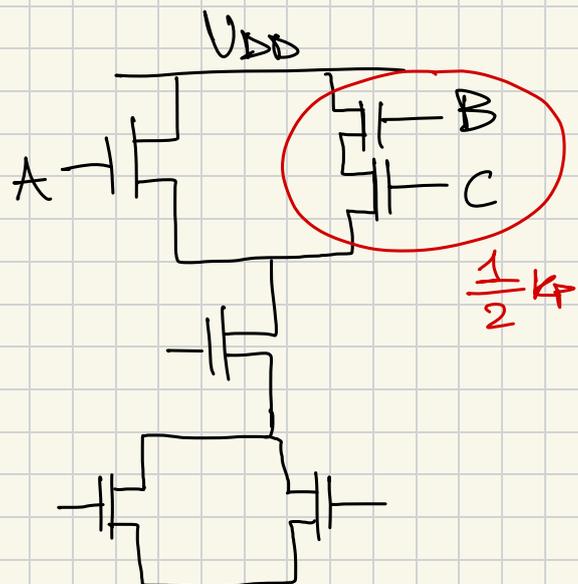


$$k = k_n // 2k_n = \frac{2}{3} k_n$$

MA QUINDI IL TEMPO DI COMPUTAZIONE SARÀ  $\frac{3}{2}$   
 DELL'INVERTER!

È INVECE DA 111 A 000?

(CALCOLEREMO) CHE LA RETE PIÙ VECE:



NOTIAMO SICURAMENTE CHE ANCHE  $K_p \neq K_n$   
 $\Rightarrow$  PARAMENTRE I TEMPI DI COMPUTAZIONE ALTO  $\rightarrow$  BASSO NON VERRANNO PROPORZIONATI