

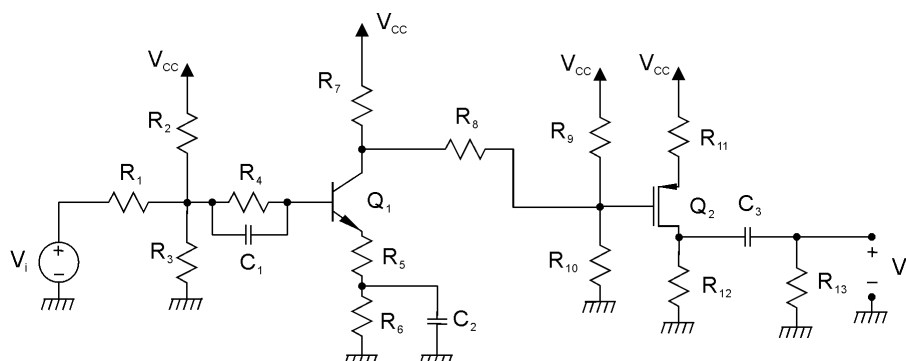
# ELETTRONICA DIGITALE

## Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 31 gennaio 2022

### Esercizio A

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_9 = 8.5 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 4.75 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 1 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 50 \Omega$	$R_{12} = 2 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 2.7 \text{ k}\Omega$	$R_{13} = 10 \text{ k}\Omega$
$R_7 = 2.5 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$
$R_8 = 1 \text{ k}\Omega$	



$Q_1$  è un transistor BJT BC109B resistivo con  $h_{re} = h_{oe} = 0$ ;  $Q_2$  è un transistor MOS a canale p resistivo con  $V_T = -1 \text{ V}$  con la corrente di drain in saturazione data da  $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$  con  $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$ .

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza  $R_4$  in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul source di  $Q_2$  sia  $13.5 \text{ V}$ . Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di  $Q_2$ .
- 2) Determinare l'espressione e il valore di  $V_u/V_i$  alle frequenze per le quali  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  possono essere considerati dei corto circuiti.

### Esercizio B

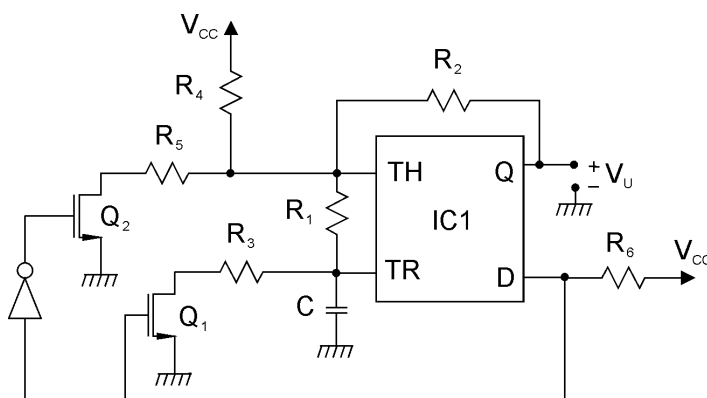
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale  $n$  e pari a 5 per quello a canale  $p$ . Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

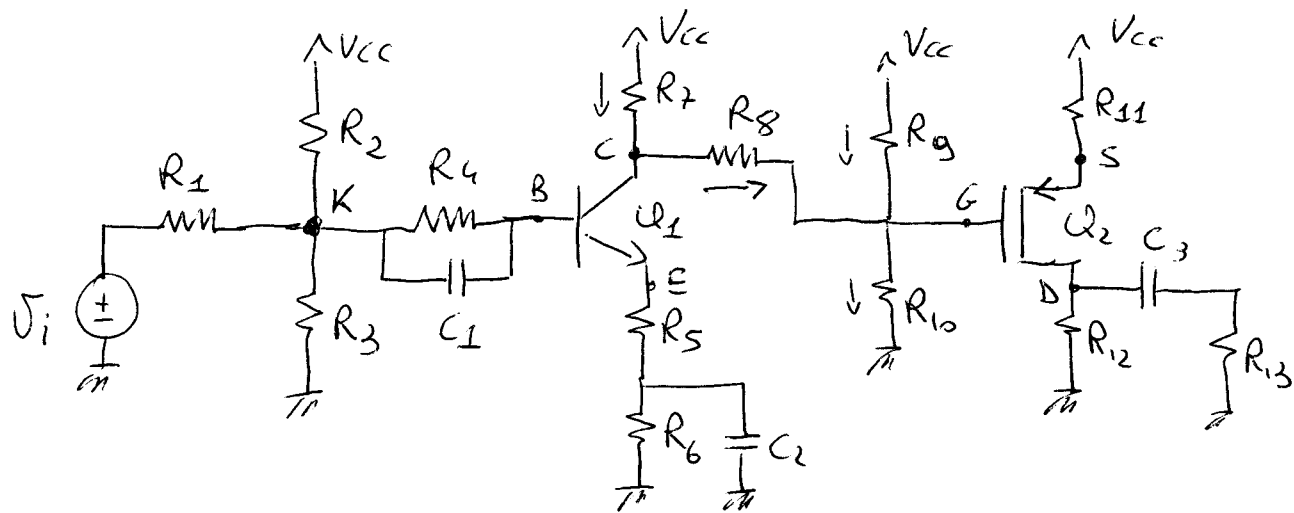
### Esercizio C

$R_1 = 500 \Omega$	$R_5 = 500 \Omega$
$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 5 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 3.5 \text{ k}\Omega$	$C = 820 \text{ nF}$
$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \text{ V}$



Il circuito  $IC_1$  è un NE555 alimentato a  $V_{CC} = 6 \text{ V}$ ;  $Q_1$  e  $Q_2$  hanno una  $R_{on} = 0$  e  $V_T = 1$ , l'inverter è ideale. Dimostrare che il circuito in figura è un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

## ESERCIZIO A



$$R_1 = 2k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 2k\Omega$$

$$R_5 = 50\Omega$$

$$R_6 = 2.7k\Omega$$

$$R_7 = 2.5k\Omega$$

$$R_8 = 1k\Omega$$

$$R_9 = 8.5k\Omega$$

$$R_{10} = 4.75k\Omega$$

$$R_{11} = 1k\Omega$$

$$R_{12} = 2k\Omega$$

$$R_{13} = 10k\Omega$$

$$V_{CC} = 18V$$

1) CALCOLARE  $R_4$  PER  $V_S = 13.5V$

$$I_S = I_{11} = \frac{V_{CC} - V_S}{R_{11}} = 4.5mA$$

$$I_G = 0 \Rightarrow I_D = I_S = 4.5mA$$

$$V_D = R_{12} I_D = 9V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = -4.5V$$

hp:  $Q_2$  SATURO  $\Rightarrow I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

$$V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} = \left\{ V_T - \sqrt{\frac{I_D}{K}} \right.$$

$$= (-1) - 3 = -4V$$

PER I PMOS LA CONDIZIONE SI HA  
PER  $V_{GS} < V_T$  PER CUI SCELGO  
SOLUZIONE CON IL SEGNO NEGATIVO

VERIFICA  $\Delta p$  SATURAZIONE:  $V_{DS} \leq (V_{GS} - V_T)$

$$(-4.5) \leq -4 - (-1) = -3V \quad \underline{OK} \quad \text{VERIFICATA}$$

$$g_m = 2K |V_{GS} - V_T| = 3 \times 10^{-3} A/V$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = -4 + 13.5 = +9.5V$$

$$I_g = \frac{V_{CC} - V_G}{R_9} = 1mA$$

$$I_{10} = \frac{V_G}{R_{10}} = 2mA$$

$$Q_2: \begin{cases} I_D = 4.5mA \\ V_{DS} = -4.5V \\ V_{GS} = -4V \\ g_m = 3 \times 10^{-3} A/V \end{cases}$$

$$I_8 = I_{10} - I_9 = 1 \text{ mA}$$

$$V_C = V_G + R_8 I_8 = 10.5 \text{ V}$$

$$I_7 = \frac{V_{CC} - V_C}{R_7} = 3 \text{ mA}$$

$$I_C = I_7 - I_8 = 2 \text{ mA}$$

$$h_p : I_B \ll I_C \Rightarrow I_C \approx I_E$$

$$V_E = (R_5 + R_6) I_E = 5.5 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 5 \text{ V}$$

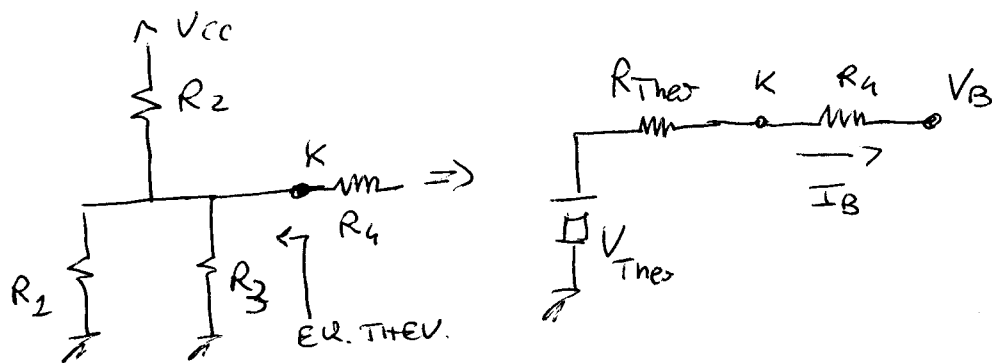
PER IL PUNTO DI RIPOSO  $I_C = 2 \text{ mA}$  E  $V_{CE} = 5 \text{ V}$  IL COSTRUTTORE DEL BC109B FORNISCE I PARAMETRI :  $h_{FE} = 290$   $h_{FE} = 300$   $h_{ie} = 4.8 \text{ k}\Omega$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.89655 \mu\text{A}$$

$\Rightarrow h_p I_B \ll I_C$  E' VERIFICATA

$$V_B = V_E + V_{BE} = 6.2 \text{ V}$$

PER RISOLVERE L'ESERCIZIO POSSIAMO FARE L'EQUIVALENTE DI THEVENIN ~~DELLA~~ DELLA PARTE DI INGRESSO DEL CIRCUITO



$$V_{Thev} = V_{CC} \frac{R_1 \parallel R_3}{(R_1 \parallel R_3) + R_2} = 9 \text{ V}$$

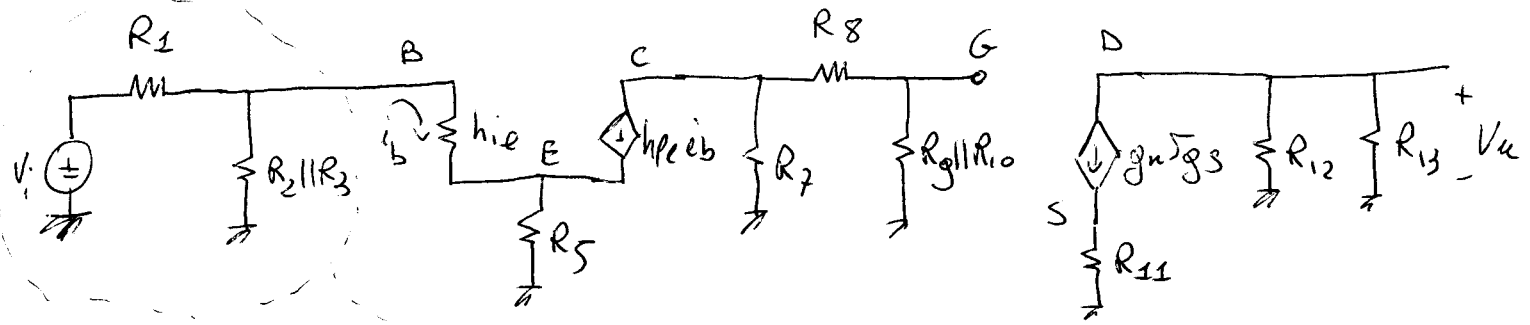
$$R_{Thev} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 = 500 \Omega$$

$$\underline{\underline{R_4 = \frac{V_{Thev} - V_B}{I_B} - R_{Thev} = 405500 \Omega}}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \\ I_B = 6.89655 \mu\text{A} \\ h_{FE} = 290 \\ h_{ie} = 4.8 \text{ k}\Omega \\ h_{FE} = 300 \end{cases}$$

2) DETERMINARE  $V_u/V_i$  A CENTRO BANDA

(3)



$$V_u = (R_{12} \parallel R_{13}) (-g_m v_{gs})$$

$$v_s = (g_m v_{gs}) R_{11}$$

$$v_{gs} = v_g - (g_m v_{gs} R_{11}) \Rightarrow v_{gs} = \frac{v_g}{1 + g_m R_{11}}$$

$$v_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_7}{R_7 + R_8 + R_9 \parallel R_{10}} \cdot (R_9 \parallel R_{10})$$

$$v_{th} = v_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

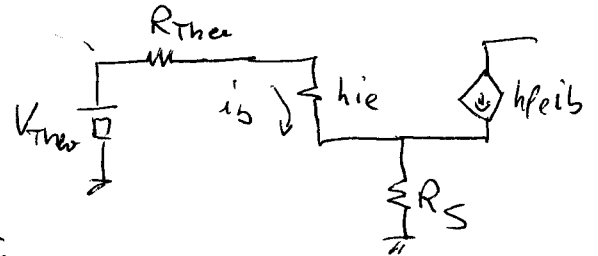
$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$$

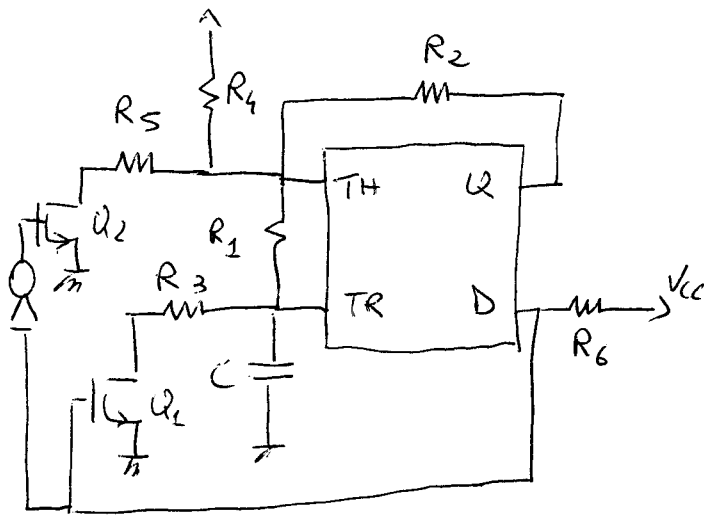
$$i_b = \frac{v_{th}}{R_{th} + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)} = \frac{v_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = (-g_m)(R_{12} \parallel R_{13}) \frac{1}{1 + g_m R_{11}} (-h_{fe}) \frac{R_7}{R_7 + R_8 + (R_9 \parallel R_{10})} (R_9 \parallel R_{10})$$

$$\frac{V_u}{V_i} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 \parallel (R_2 \parallel R_3)} \frac{1}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)} = + 5.36$$

(0.25) (4.914 x 10<sup>-5</sup>)





$$R_1 = 500 \Omega$$

$$R_2 = 2k\Omega$$

$$R_3 = 3.5k\Omega$$

$$R_4 = 2k\Omega$$

$$R_5 = 500 \Omega$$

$$R_6 = 5k\Omega$$

$$C = 820 \text{ nF}$$

$$V_{CC} = 6V$$

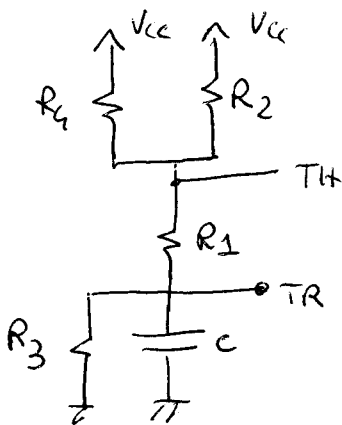
1) FASE 1

$$Q = 1$$

$$D = \text{HI} \Rightarrow V_{G1} = V_{CC} ; V_{S1} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = V_{CC} = 6V > V_{T1} = 1V \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$$

$$V_{G2} = 0V ; V_{S2} = 0V \Rightarrow V_{GS2} = 0V < V_{T2} = 1V \Rightarrow Q_2 \text{ OFF}$$

IL CIRCUITO DIVENTA:



$$V_{G1} = \frac{1}{3} V_{CC} = 2V$$

$$V_{f1} = V_{CC} \frac{R_3}{(R_2 \parallel R_4) + R_1 + R_3} = 4.2V$$

$$\text{Se } V_{TH} = 4V$$

$$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_2 \parallel R_4} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{cor1} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 3V$$

$$\text{VERIFICA CORRUZIONE: } V_{f1} > V_{cor1} > V_{f1}$$

$$2V > 3V > 4.2V \Rightarrow \text{OK}$$

$$R_{V1} = R_3 \parallel (R_1 + R_2 \parallel R_4) = 1050 \Omega$$

$$\tau_1 = R_{V1} C = 861 \mu s$$

$\tau_2$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left( \frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor1} - V_{f1}} \right) = 521.883 \mu s$$

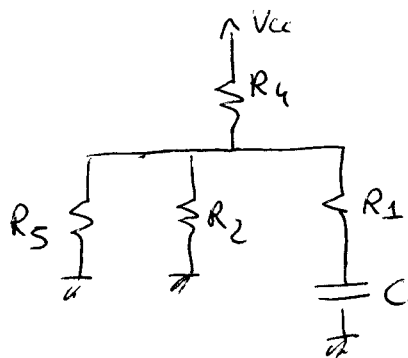
(3)

1) FASE 2

$$Q = \phi$$

$$D = \phi \Rightarrow \begin{cases} V_{G1} = \phi V, V_{S1} = \phi V \Rightarrow V_{GS1} = \phi V < V_{T1} = 1V \Rightarrow Q_1 \text{ OFF} \\ V_{G2} = 6V, V_{S2} = \phi V \Rightarrow V_{GS2} = 6V > V_{T2} = 1V \Rightarrow Q_2 \text{ ON} \end{cases}$$

IL CIRCUITO DIVENTA:



$$V_{i2} = V_{cor1} = 3V$$

$$V_{cor2} = V_{i1} = 2V$$

$$V_{f2} = V_{cc} \frac{R_2 \parallel R_5}{(R_2 \parallel R_5) + R_4} = 1V$$

VERIFICA CONMUTAZIONE:  $V_{i2} > V_{cor2} > V_{f2}$

$3V > 2V > 1V$  OK

$$R_{V2} = R_1 + (R_2 \parallel R_4 \parallel R_5) = 833.3 \Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} C = 683.3 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left( \frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{cor2} - V_{f2}} \right) = 473.65 \mu s$$

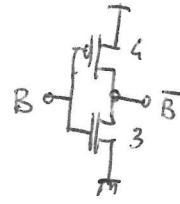
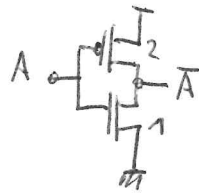
$$T = T_1 + T_2 = 995.53 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{1004.5 \text{ Hz}}}$$

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

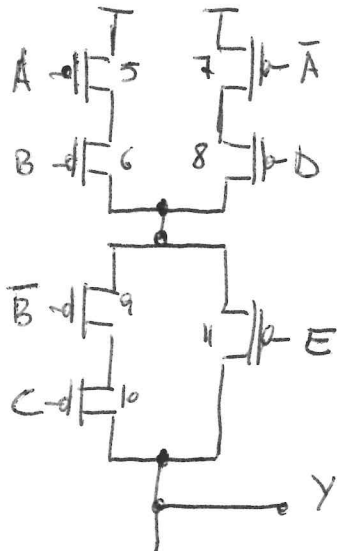
$$N = 2 \times 7 + 2 \times 2 = 18$$

INVERTER:



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3} = M = 2$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4} = P = 5$$



PUN: PERCORSI DA 4:  $\begin{cases} 5-6-9-10 & \text{IMPOSS. (B e } \bar{B}) \\ 7-8-9-10 & \text{POSSIBILI} \end{cases}$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10} = X \rightarrow \frac{1}{X} + \frac{1}{X} + \frac{1}{X} + \frac{1}{X} = \frac{4}{X} = \frac{1}{P}$$

$$X - \left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10} = 4P = 20$$

PERCORSI DA 3  $\begin{cases} 5-6-11 \\ 7-8-11 \end{cases}$  POSSIBILI  
 $\rightarrow$  GIÀ DIMENSIONATI

ABBIAMO DUE OPZIONI:

OPZ. 1) CONSIDERO PRIMA 7-8-11 e DOPO 5-6-11

$$t = \left(\frac{W}{L}\right)_{11} \rightarrow \frac{1}{6} + \frac{1}{4P} + \frac{1}{4P} = \frac{1}{t} + \frac{1}{2P} = \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{6} = \frac{1}{2P} \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = t = 2P = 10$$

$$t = \left(\frac{W}{L}\right)_{5,6} \rightarrow \frac{1}{t} + \frac{1}{t} + \frac{1}{2P} = \frac{2}{t} + \frac{1}{2P} = \frac{1}{P}$$

$$\frac{2}{t} = \frac{1}{2P} \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{5,6} = 4P = 20$$

OPZ. 2) USO 5-6-11 e DOPO VERIFICO 7-8-11

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{5,6,11} = J \rightarrow \frac{1}{J} + \frac{1}{J} + \frac{1}{J} = \frac{3}{J} = \frac{1}{P} \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{5,6,11} = 3P = 15$$

VERIFICO 7-8-11:  $\frac{1}{4P} + \frac{1}{4P} + \frac{1}{3P} = \frac{3+3+4}{12P} = \frac{5}{6P} < \frac{1}{P}$  OK, DIMENSIONAMENTO VALIDO

CONFRONTO IN ARSA TRA LE DUE OPZIONI, USANDO  $\frac{W}{L}$

	5	6	11	TOT
OPZ 1	4p	4p	2p	10p
OPZ 2	3p	3p	3p	9p

→ OPZIONE (2) AD ARSA MINORE

PDN: TUTTI PERCORSI DA 2 VIOS:

12-14	} POSSIBILI	IMPOSSIBILI (A o $\bar{A}$ )
12-15		
13-14		
13-15		
16-18		
17-18		

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{12,13,14,15,16,17,18} = K$$

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{K} = \frac{2}{K} = \frac{1}{m} \rightarrow K = \left(\frac{W}{L}\right)_{12,13,14,15,16,17,18} = 2m = 4$$