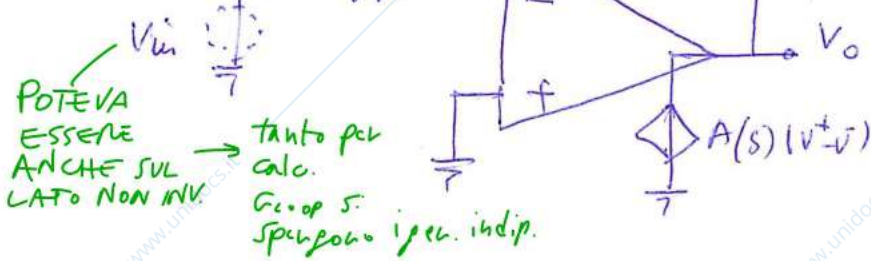


# COMPENSAZIONE IN FREQUENZA

Modifica del G<sub>Loop</sub> di un circuito realistico in modo da renderlo stabile con margine di fase adeguato.

Esempio:



modello 2 poli:

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{\omega_0})(1 + \frac{s}{\omega_1})}$$

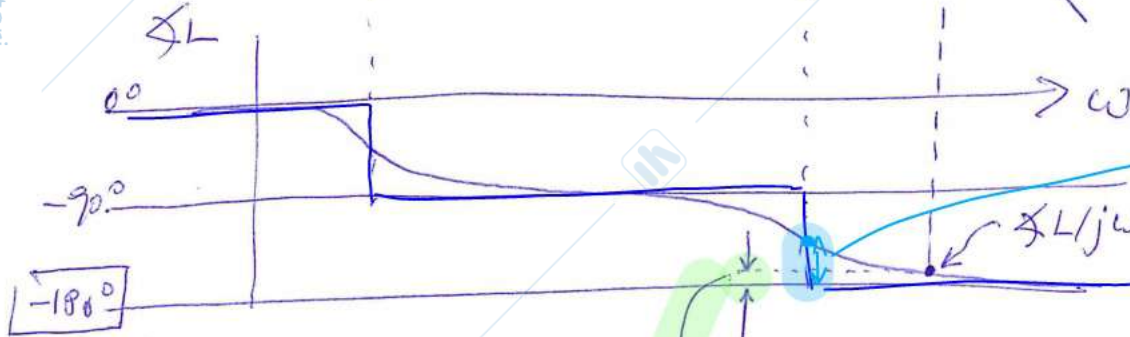
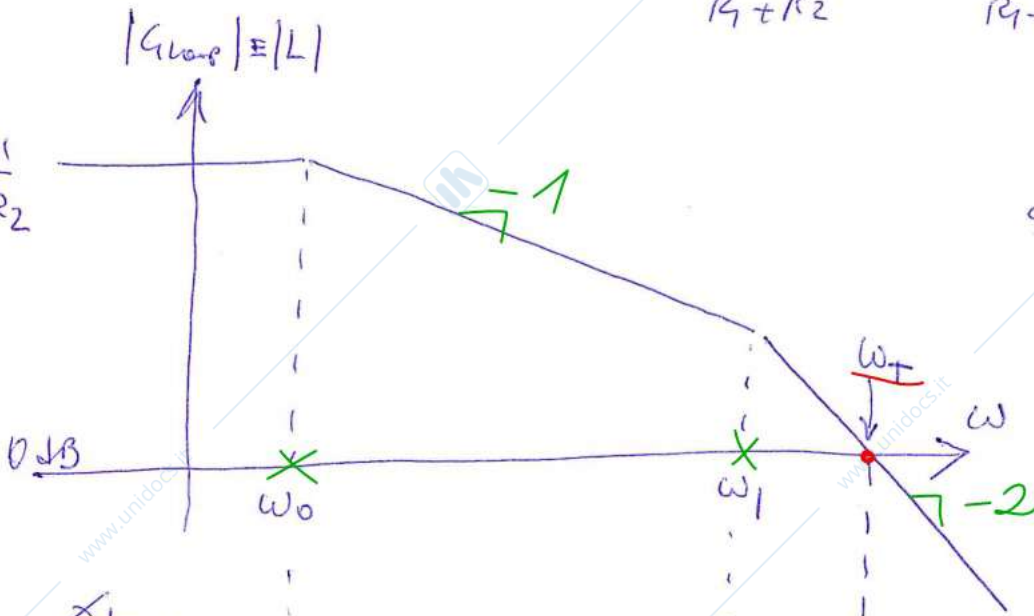
non + modello a singolo polo

↳ 2° polo da altri -90° di sfasam.

$$G_{loop}(s) = -L(s) = -A(s) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\frac{A_0 R_1}{R_1 + R_2} \frac{1}{(1 + \frac{s}{\omega_0})(1 + \frac{s}{\omega_1})}$$

$\text{Re}(p_i) < 0$

SI VOULTE  
 $\varphi_m \gg 45^\circ$



Se taglio a  $\omega_1$  invece ho un margine di fase  $\varphi_m > 45^\circ$

$\varphi_m$  margine di fase

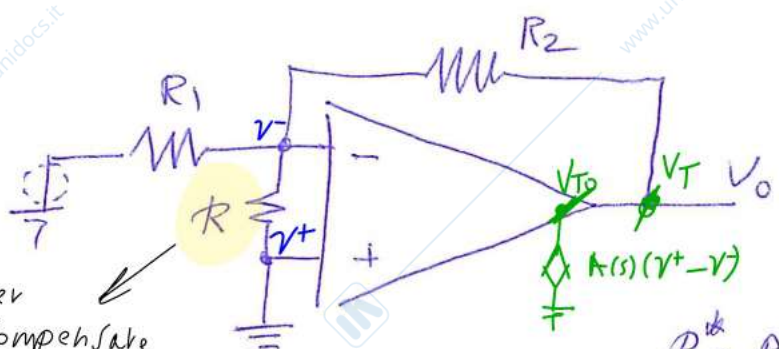
$$\varphi_L(j\omega_T) = -\arctan\left(\frac{\omega_T}{\omega_0}\right) - \arctan\left(\frac{\omega_T}{\omega_1}\right)$$

$$\varphi_m = \varphi_L(j\omega_T) - (-180^\circ) = 180^\circ - |\varphi_L(j\omega_T)|$$

Essendo  $\omega_T > \omega_1$  sarà  $\varphi_m < 45^\circ \rightarrow$  instabile

# # Riduzione Gloop in continua

Calcolo Gloop:  $V^- = \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2} V_T$   
 $V^+ = 0$   
 $\hookrightarrow V_{TO} = A(s)(V^- - V^+) =$   
 $= -A(s) \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2} V_T$   
 $G_{loop}^*$



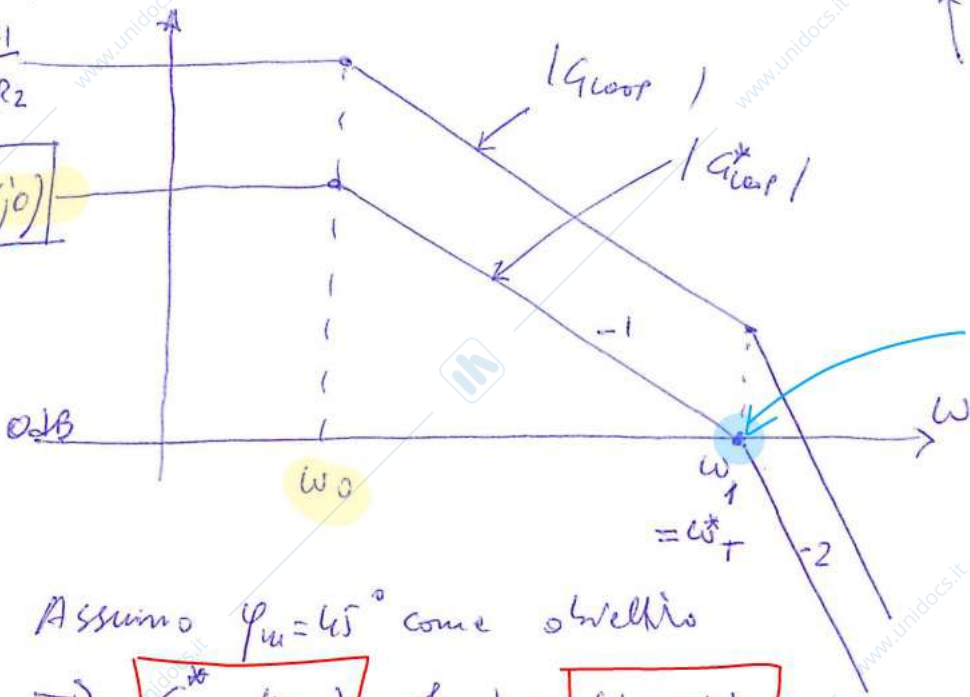
per compensare e abbassare il modulo

$R_1^* = R_1 // R < R_1$

Costi Avvicina  $\omega_T$  a  $\omega_1$  che mi dà un margine di fase + grande

$G_{loop}(s) = -A(s) \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2}$

$\frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2} = - \frac{A_0 \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2}}{(1 + \frac{s}{\omega_0})(1 + \frac{s}{\omega_1})}$



$G_{loop}^*(j\omega) < G_{loop}(j\omega)$

Voglio  $\phi_u = 45^\circ$   
 phi un sotto compens. a  $\omega_T$   $\phi_u < 45^\circ$

Assumo  $\phi_u = 45^\circ$  come obiettivo

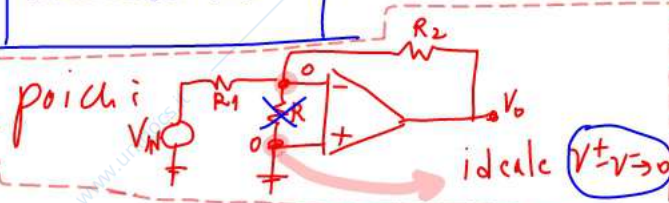
$\rightarrow G_{loop}^*(j\omega_T) = 1$  per  $\omega_T = \omega_1$

Per  $\omega_0 < \omega < \omega_1 \rightarrow |G_{loop}^*| \approx \frac{1}{\omega}$   
 all'inizio

$\rightarrow \frac{G_{loop}^*(j\omega_0)}{1} = \frac{\omega_1}{\omega_0}$

$\rightarrow \frac{A_0 \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2}}{1} = \frac{\omega_1}{\omega_0} \rightarrow$  calcolo R

calcolo R



poiché  $V_{VT} = V_T$  ideale  $V^+ - V^- = 0$

**NB1:** non varia  $(V_0/V_{in})_{ideale}$

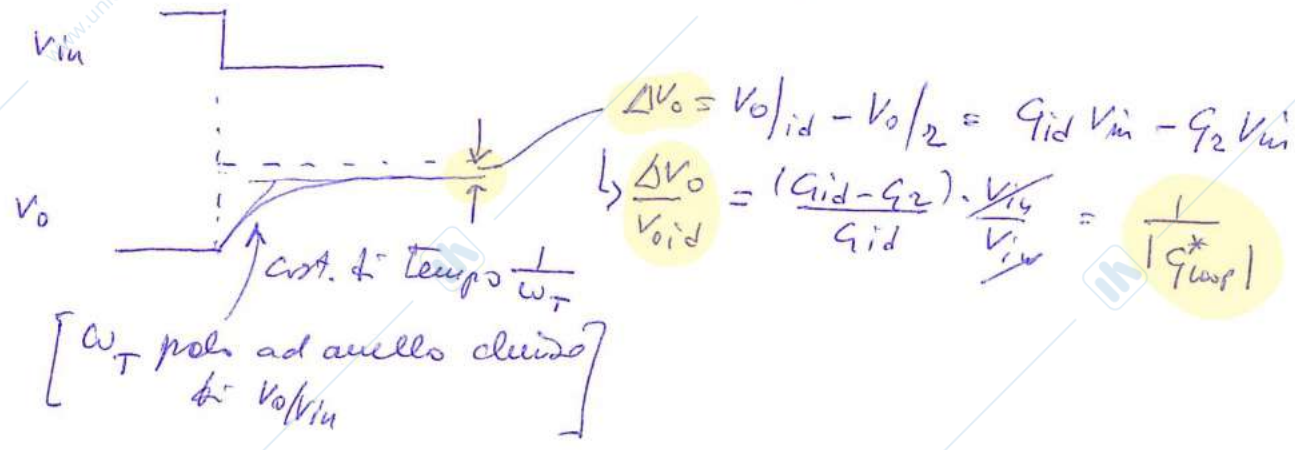
**NB2:** Ridurre  $G_{loop}(j\omega_0)$  e  $\omega_T^* \rightarrow$  polo ad anello chiuso (d.  $V_0/V_{in}$ )

si è ridotto la BP (banda passante) del sistema ad anello chiuso  $\hookrightarrow \frac{(V_0/V_{in})_{ideale} - (V_0/V_{in})_{reale}}{(V_0/V_{in})_{ideale}} = \frac{1}{|G_{loop}^*|}$

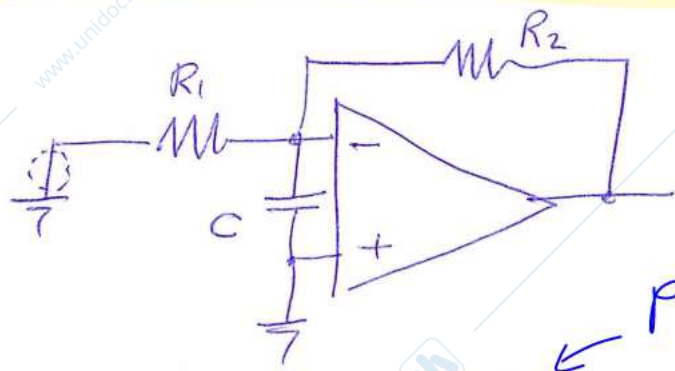
www.unidocs.it Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**NB3:** Risposta al gradino (singolo blo  $\omega_T$ , "dominante")



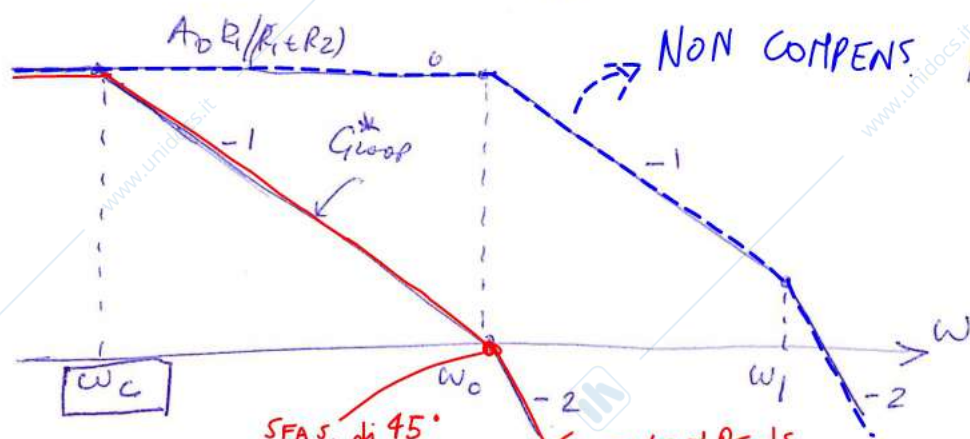
# COMPENSAZIONE CON AGGIUNTA DI UN POLO DOMINANTE



AGGIUNGO POLO CON CONDENSATORE

partitore di prima con  $\gamma^-$

$$G_{loop}^*(s) = -A(s) \frac{R_1 \parallel \frac{1}{sC}}{R_1 \parallel \frac{1}{sC} + R_2} = -A_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{1}{(1 + \frac{s}{\omega_0})(1 + sC R_1 \parallel R_2)}$$



polo aggiuntivo  
 $\omega_c = \frac{1}{C R_1 \parallel R_2}$

$\omega_c$ ?

$$\frac{A_0 R_1}{R_1 + R_2} = \frac{\omega_0}{\omega_c} \rightarrow \omega_c = \frac{\omega_0}{\frac{A_0 R_1}{R_1 + R_2}}$$

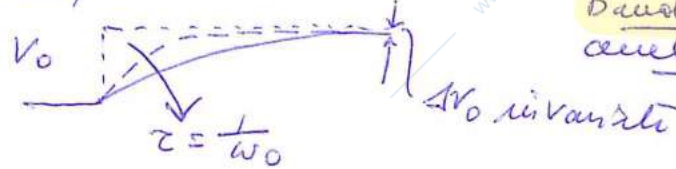
SFA.S. di 45°  
 naturalmente i dir. di fase non solo quelli appox. (altri a  $\omega_0$  scendere di 90°)

( $\rightarrow \varphi_{in} = 45^\circ$ )

**NB1:** non varia  $(V_o/V_{in})_{id}$  stesso  $\rightarrow$  vedi pag. prima (x cond. ideale  $v^+v^- \rightarrow 0 \rightarrow C.A.$ )

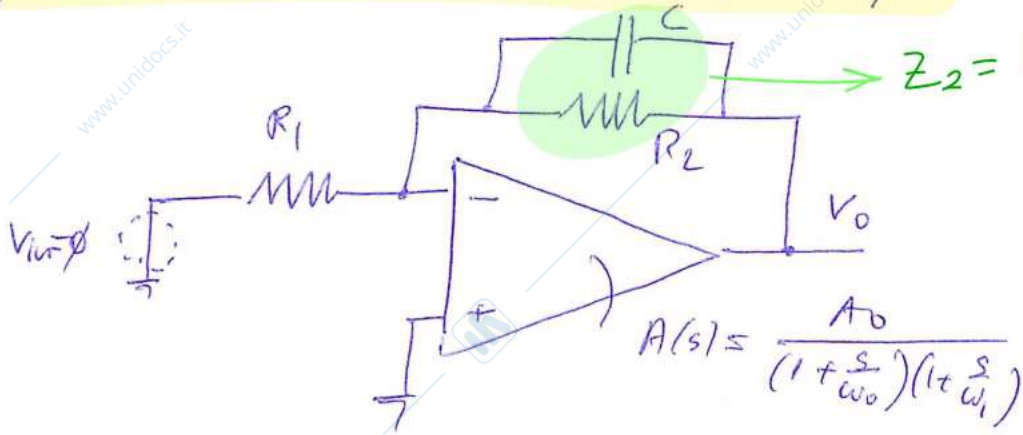
**NB2:**  $G_{loop}(j\omega)$  invariato, ma  $\omega_T \equiv \omega_0$  (!)  $\rightarrow$  riduzione costante banda passante ad anello chiuso

$\hookrightarrow$  Risposta al gradino:



$\downarrow$  LA BP SI RIDUCE

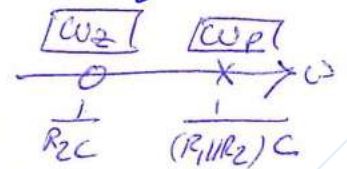
# # COMPENSAZIONE IN ANTICIPO ("LEAD")



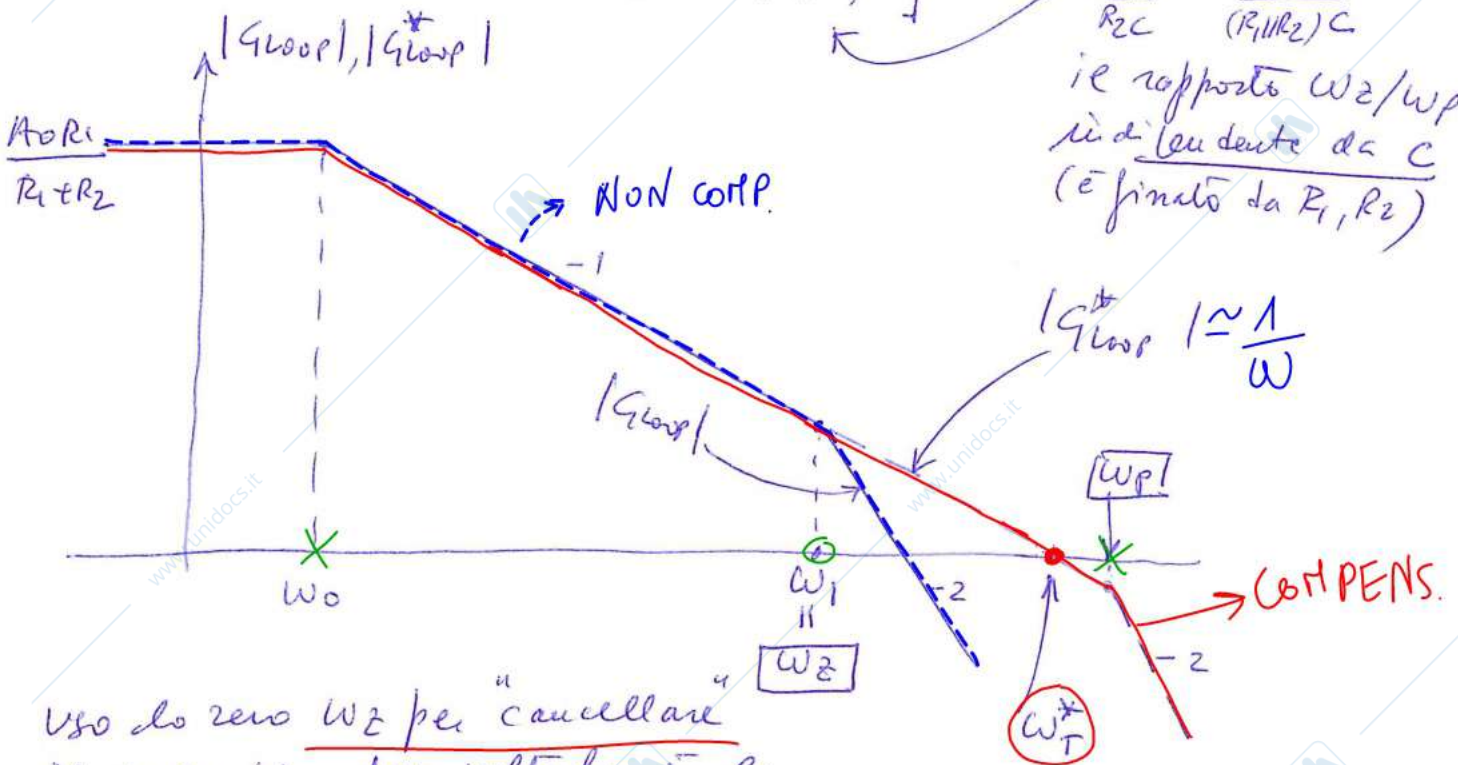
$$Z_2 = R_2 \parallel \frac{1}{sC} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + sC} = \frac{R_2}{1 + sCR_2}$$

$$G_{loop}(s) = -A(s) \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2}{1 + sCR_2}} = -A(s) \frac{R_1 (1 + sCR_2)}{R_1 + sR_1R_2C + R_2} = Z \in R_0$$

$$= -A(s) \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left[ \frac{1 + sR_2C}{1 + s(R_1 \parallel R_2)C} \right]$$



il rapporto  $\omega_z/\omega_p$  si dice lead da C!  
(è finito da  $R_1, R_2$ )



Uso del zero  $\omega_z$  per cancellare il polo  $\omega_1$ . Una volta finito lo zero, la discesa di  $|G_{loop}|$  continua a  $-20$  dB/dec.

Bisogna controllare che  $\omega_p$ , già finito dalla condizione di cancellazione  $\omega_z = \omega_1$ , avvenga oltre l'intersezione a  $\omega_T^*$ .

CANCELLAZIONE:  $\omega_z = \omega_1 \rightarrow \frac{1}{R_2 C} = \omega_1 \rightarrow [C] = \frac{1}{R_2 \omega_1}$  oppure il valore di C

Poco  $\omega_p$ :  $\frac{\omega_p}{\omega_z} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \rightarrow [\omega_p] = \omega_z \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \omega_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

VERIFICA

Mell'ipotesi in figura ( $\omega_p \gg \omega_T^*$ ), possiamo calcolare  $\omega_T^*$ .  
 Poiché  $|G_{loop}| \approx \frac{1}{\omega}$

$$\rightarrow \frac{\omega_T^*}{\omega_0} = \frac{A_0 R_1}{R_1 + R_2} \rightarrow \boxed{\omega_T^* = (A_0 \omega_0) \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Si può ora verificare l'ipotesi. Se verificata abbiamo  $\varphi_m \gg 45^\circ$

**NB1:** In questo caso si conserva  $G_{loop}^*(j\omega) = G_{loop}(j\omega)$

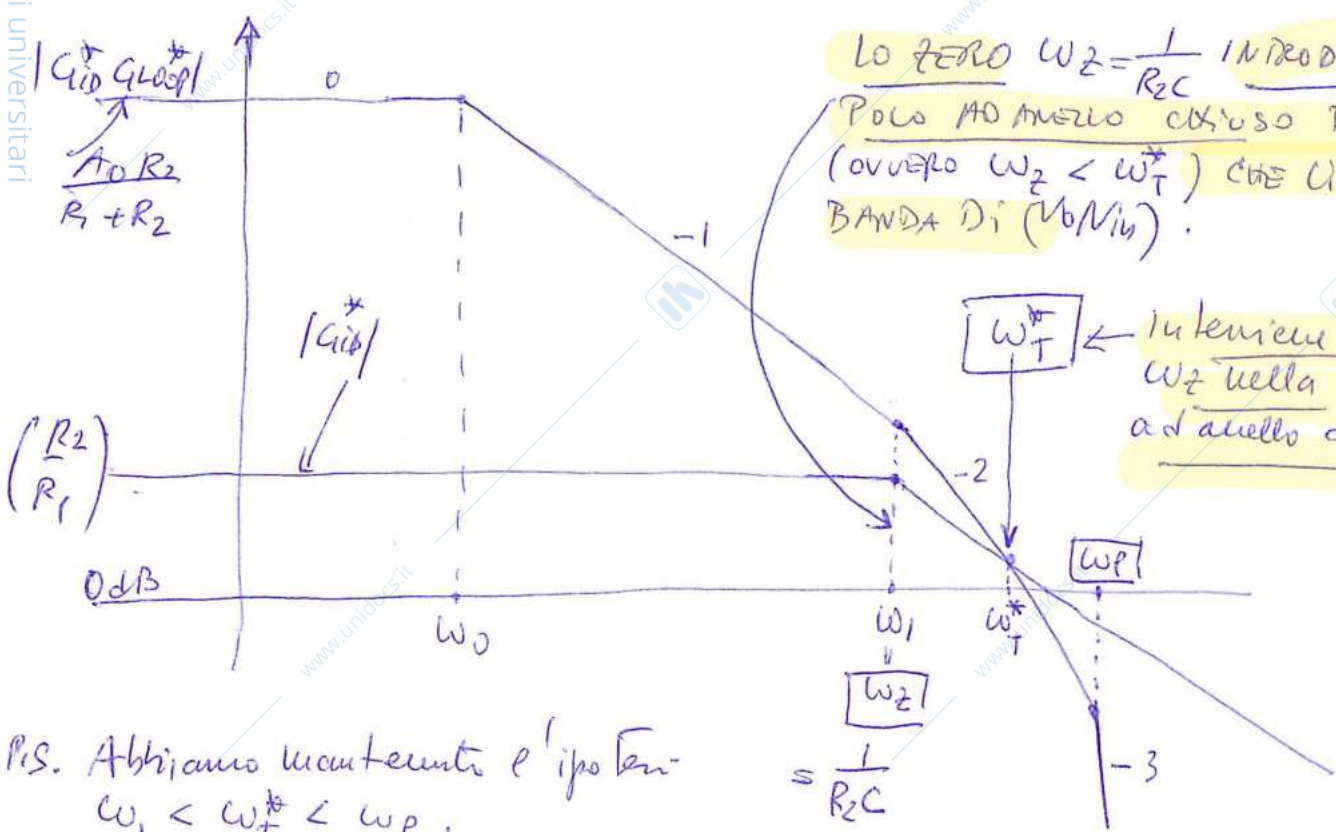
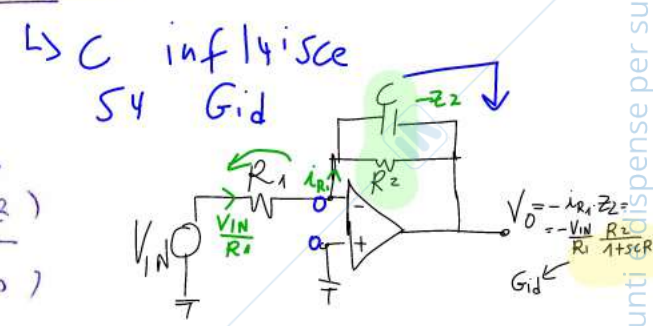
**NB2:** L'intersezione di  $G_{loop}^*$  con l'asse 0dB a  $\omega_T^*$  avviene a frequenza maggiore! Polo ad anello chiuso più veloce!

**NB3:** Guadagno ideale  $(\frac{V_o}{V_{in}})_{id}$  è cambiato! Vedi NB3

$$|G_{id}^*| = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{(1 + s/\omega_z)}$$

$$|G_{loop}^*| = \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{\omega_0})} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{(1 + s/\omega_z)}{(1 + s/\omega_p)}$$

$$|G_{id}^* G_{loop}^*| = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{(1 + s/\omega_z)} \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{\omega_0})} \frac{1}{R_1 + R_2} \frac{1}{(1 + s/\omega_p)}$$



P.S. Abbiamo mantenuto l'ipotesi  $\omega_1 < \omega_T^* < \omega_p$ .