

STABILITÀ E COMPENSAZIONE:

DEFINIZIONE: Un sistema ^{retroazionato} con un solo polo (che quindi non può avere uno sfasamento di 360° , che comunque la sua retroazione negativa in una retroazione "positiva") è chiamato **sistema incondizionatamente stabile**.

Se il sistema ha due o più poli ha invece la possibilità di avere uno sfasamento di 360°

ad esempio se consideriamo un sistema con due poli e nessun zero:

$$G_{\text{loop}}(s) = \frac{G_{\text{loop}}(0)}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$G_{\text{loop}}(0) < 0$
Sistema retroazionato negativamente

$\bar{\omega}$ a cui lo sfasamento raggiunge 360°

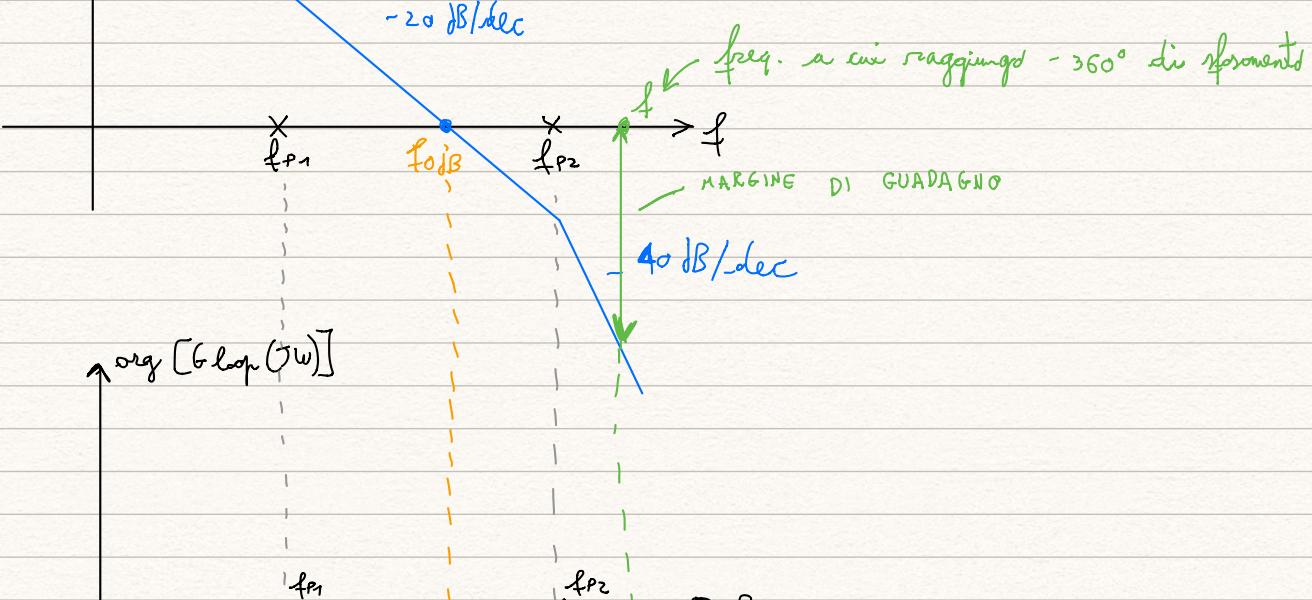
• $|G_{\text{loop}}(j\bar{\omega})| < 1 \rightarrow$ SISTEMA STABILE

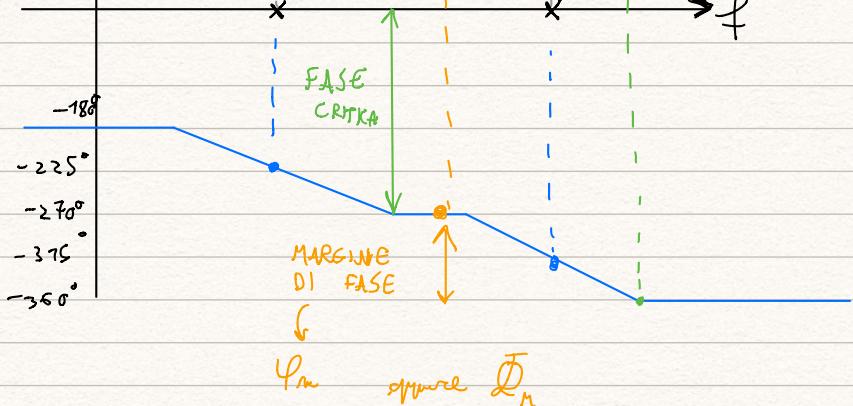
• $|G_{\text{loop}}(j\bar{\omega})| = 1 \rightarrow$ OSCILLATORE PURO

• $|G_{\text{loop}}(j\bar{\omega})| > 1 \rightarrow$ SISTEMA INSTABILE

CASO 1:

$$\uparrow |G_{\text{loop}}(j\omega)|$$





$$\Phi_m = \arg [G_{loop} (j\omega)] - (-360^\circ)$$

$$\omega_0 dB = 2\pi f_0 dB$$

$\Phi_m > 0$ SISTEMA STABILE

$\Phi_m > 45^\circ$ CONDIZIONE PER LA STABILITÀ

$$|G_{loop} (j\omega)| = 1$$

$$G_{loop} (j\omega) = 1 \cdot e^{-j\theta}$$

$$G_{feed} = -G_{ideale} \cdot G_{loop}$$

$$G_{feed} = \frac{G_{ondate}}{1 - G_{loop}} = \frac{G_{ondate}}{1 - 1 \cdot e^{-j\theta}} = \frac{-G_{ideale} \cdot G_{loop}}{1 - e^{-j\theta}} = \frac{-G_{ideale} \cdot 1 \cdot e^{-j\theta}}{1 - j e^{-j\theta}}$$

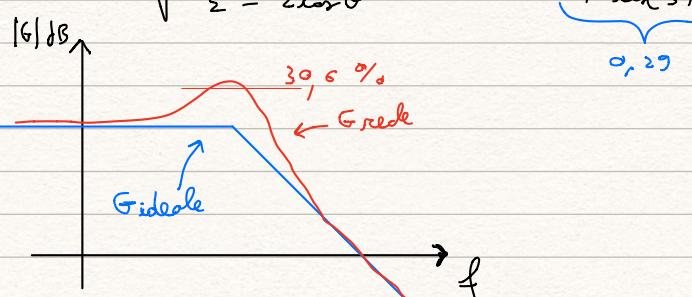
CALCOLO IL MODOLO DI G_{feed} :

$$|G_{feed}| = |G_{ideale}| \left| \frac{e^{-j\theta}}{1 - e^{-j\theta}} \right|$$

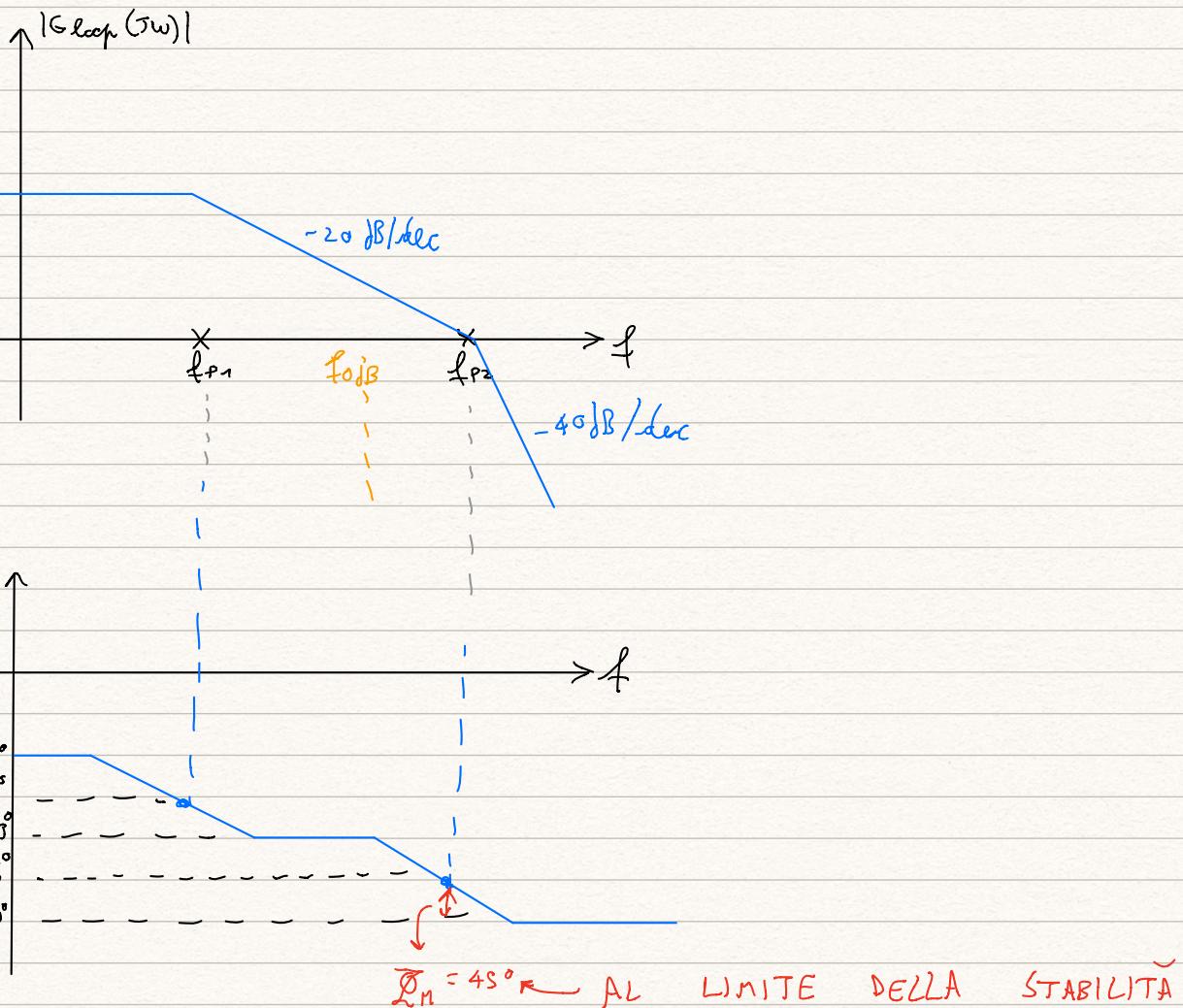
$$e^{-j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$$

$$\left| \frac{e^{-j\theta}}{1 - e^{-j\theta}} \right| = \left| \frac{\cos \theta + j \sin \theta}{1 - \cos \theta - j \sin \theta} \right| = \frac{\sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}}{\sqrt{(1 - \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 2 \cos \theta + \cos^2 \theta + \sin^2 \theta}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2 - 2 \cos \theta}} = \frac{1}{\sqrt{2} \sqrt{1 - \cos(-315^\circ)}} = 1,306$$

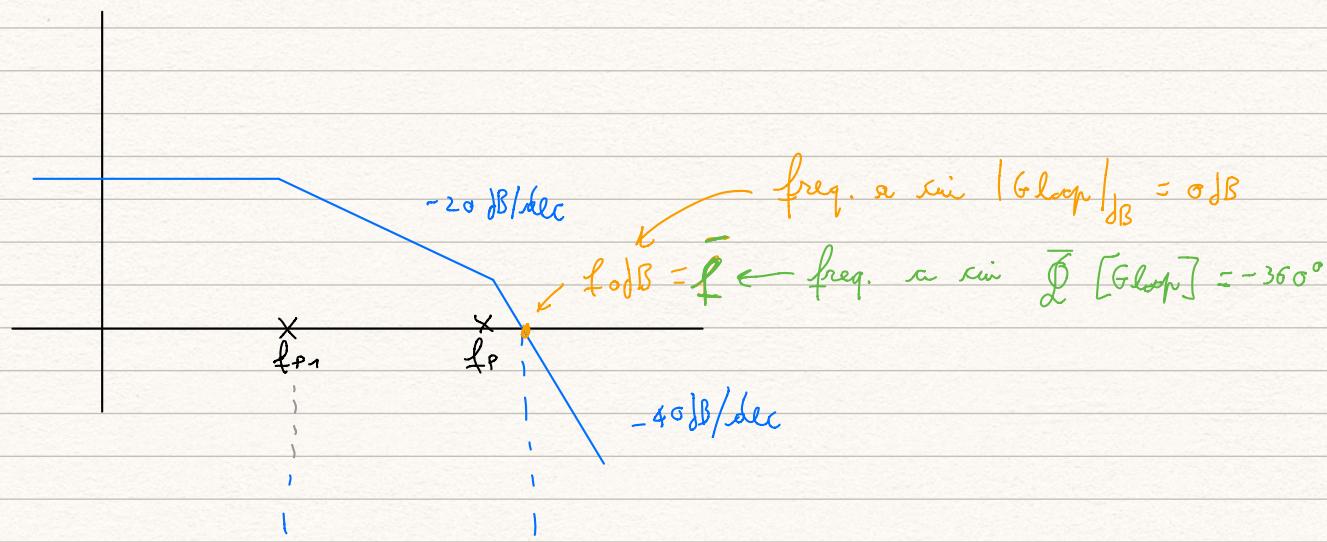


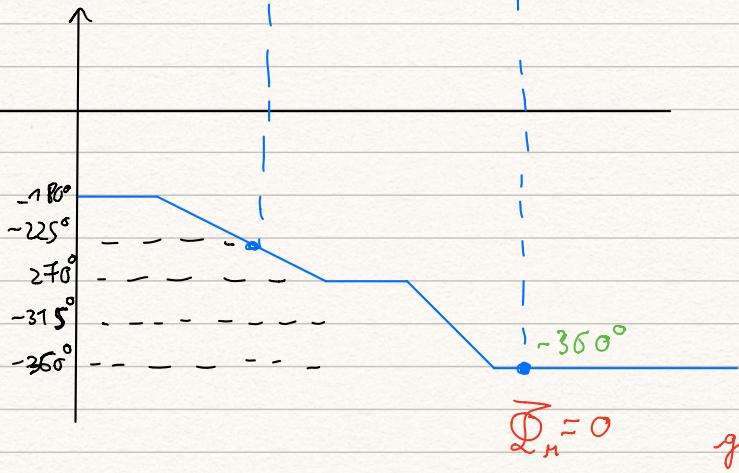
CASO 2:



MARGINE DI FASE: complemento a (-360°) della fase di G_{loop} alla frequenza
alla quale il modulo del G_{loop} taglia l'asse 0dB.

GRAFICO IN CASO D'INSTABILITÀ:





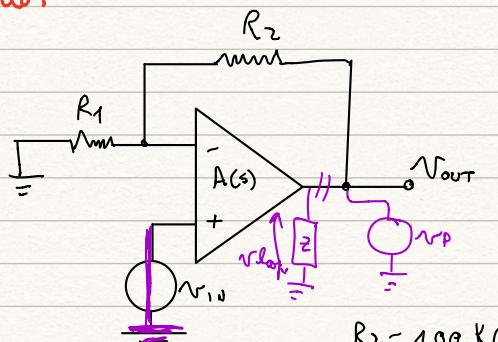
CRITERI DI BODE PER LA STABILITÀ



sono una condizione sufficiente (non necessaria)

- |G loop (JW)| Taglia l'asse dB con pendenza -20 dB/dec \rightarrow IL SISTEMA È STABILE
- |G loop (JW)| taglia l'asse dB con pendenza -50 dB/dec o superiore \rightarrow SISTEMA INSTABILE
- |G loop (JW)| taglia l'asse dB con pendenza -40 dB/dec \rightarrow NON SI SA COSA DIRE

esempio:



GUADAGNO AD ANELLO APERTO DELL' OP. AMP.

$$A(s) = \frac{A_0}{(1+sR_1)(1+sR_2)}$$

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 500 \text{ kHz}$$

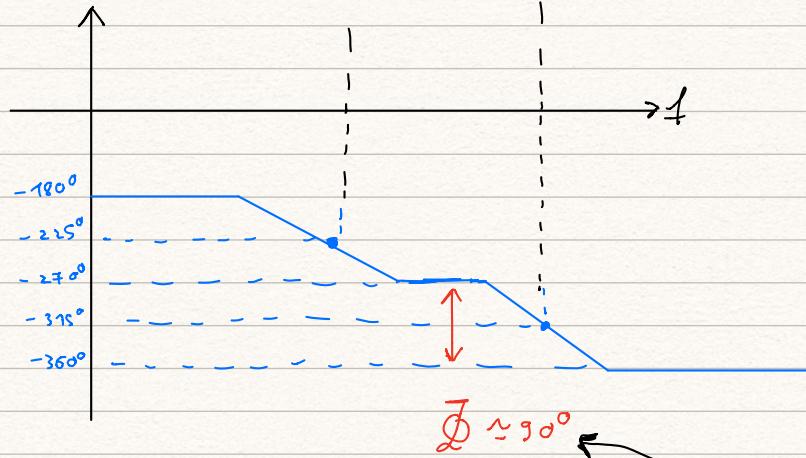
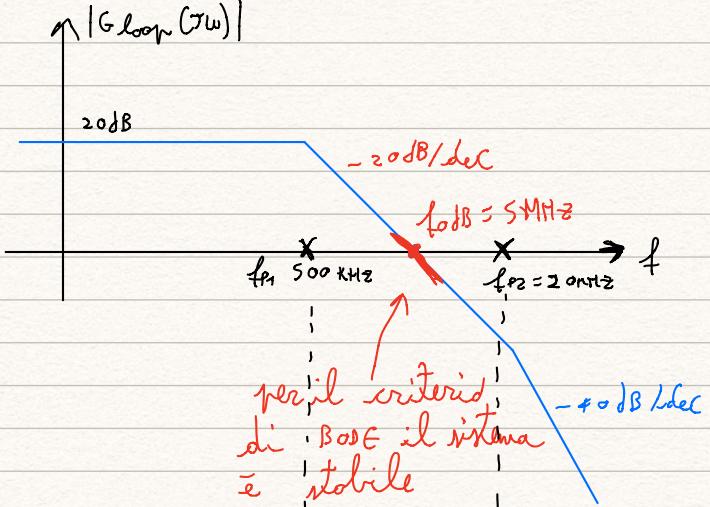
$$f_{P2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 20 \text{ MHz}$$

$$A_0 = 80 \text{ dB}$$

CALCOLARE IL MARGINE DI FASE

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

$$|G_{loop}(s)| = \frac{R_1}{R_1 + R_2} A_0 \approx \frac{10^2}{10^5} \cdot 10^4 = 10 = 20 \text{ dB}$$

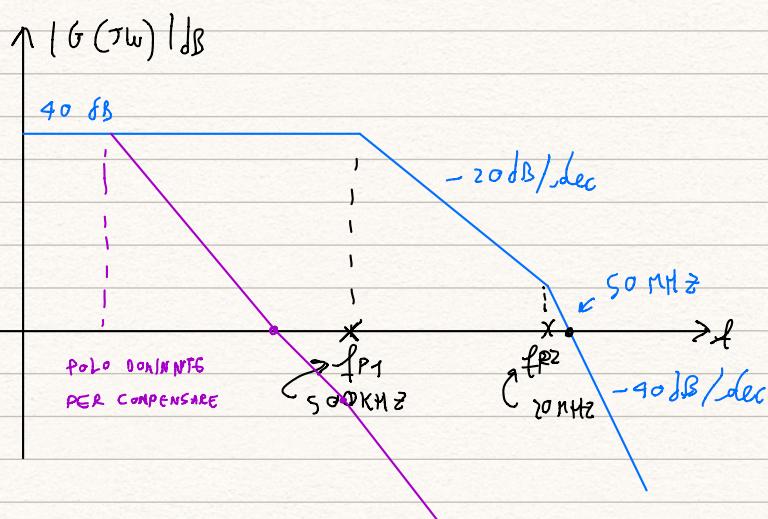


B) Se abbassiamo R_2 a $10 \text{ k}\Omega$?

$$G_{\text{ideale}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 101 \rightarrow \approx 40 \text{ dB}$$

$$G_{\text{loop}}(s) = -\frac{R_1}{R_1+R_2} A(s) = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot \frac{A_0}{(1+sT_1)(1+sT_2)} \approx \frac{10^{-2}}{10^{-4} + 10^2} , \frac{10^4}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

$$G_{\text{loop}}(0) = 100 \rightarrow 40 \text{ dB}$$



$$|G_{loop}(j\omega f_p)| f_p = |G_{loop}(j\omega f_p)| f_p$$

$$|G_{loop}(j\omega f_p)| f_p^2 = f_{dB} \cdot 1$$

$$f_{dB} = \sqrt{|G_{loop}(j\omega f_p)| f_p^2}$$

$$f_p = f_p \cdot \frac{|G_{loop}(j\omega f_p)|}{|G_{loop}(j\omega f_p)|}$$

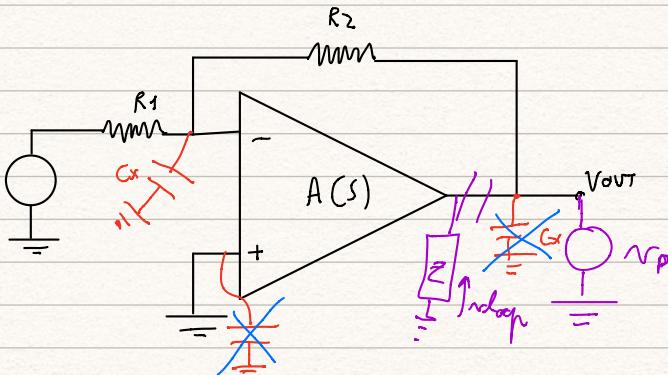
$$\varnothing_n = \left[-180^\circ - \arctg \frac{f_{dB}}{f_p} - \arctg \frac{f_{dB}}{f_p} \right] - (-360^\circ) = -180^\circ - 89^\circ - 58^\circ + 360^\circ = 33^\circ !!!$$

$\varnothing_n < 45^\circ \rightarrow$ Il sistema è stabile da un punto di vista matematico ma non da un punto di vista reale

Carattere operazionale

"Unity gain stable" = di un circuito V che è stabile con guadagno ad anello chiuso

EFFETTO DI UN CARICO CAPACITIVO IN INGRESSO:



$$A(s) = \frac{A_0}{1 + sC_0}$$

C_x capacità parassita del moschettone \ominus

$$G_{IDEALE} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{grazie alla terra virtuale}$$

Calcoliamo $G_{loop}(s)$:

$$G_{loop}(s) = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} A_0 \cdot \frac{1}{1 + sC_0} \cdot \frac{1}{1 + sC_p}$$

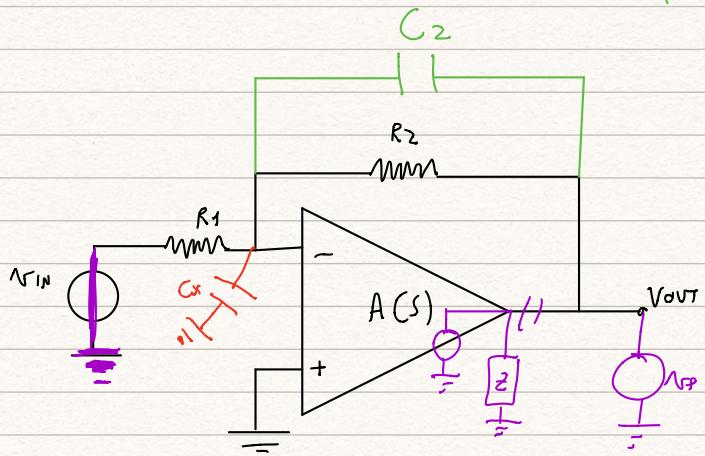
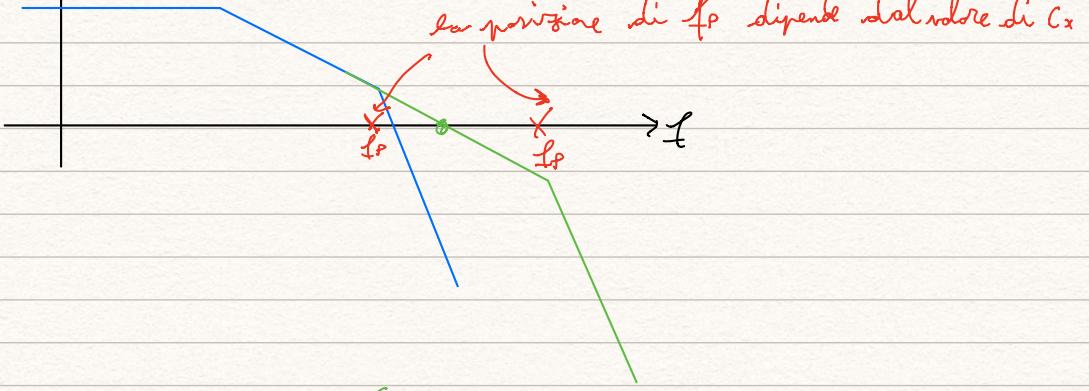
$$C_p = C_x (R_1 / R_2)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_0}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_p}$$

$$\uparrow |G_{loop}(j\omega)| dB$$

+ P + C + L + C + L +



$$G_{loop}(s) = G_{loop}(0) \cdot \frac{1}{s\zeta_0 + 1} \cdot \frac{1}{1 + s\tau_p}$$

$$\tau_p = (C_x + C_2)(R_1 / R_2)$$

COMPENSAZIONE

