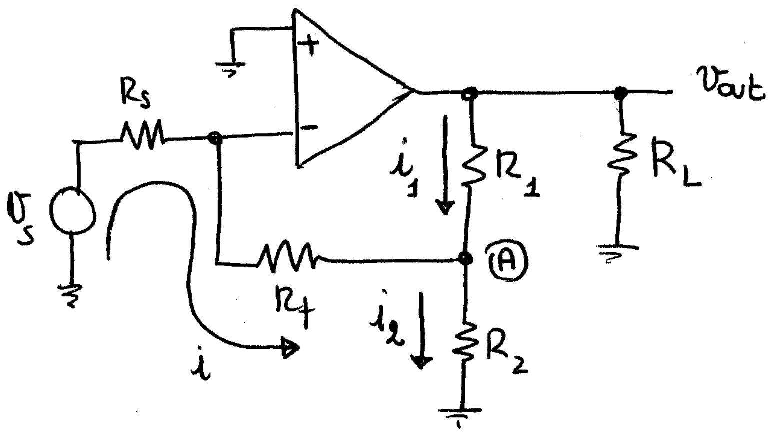
SOLUZIONE

(1) GUADAGNO IDEALE

$v^+ = 0 \rightarrow v^- = 0$ (TERRA VIRTUALE, GRAZIE ALLA RETROAZIONE NEGATIVA)



$$i = \frac{v_S}{R_S}\ ; \qquad v_{(A)} = -R_f\, i = -\frac{R_f}{R_S} v_S\ ; \qquad i_2 = \frac{v_{(A)}}{R_2} = -\frac{R_f}{R_S}\frac{v_S}{R_2}$$

$$i_1 = i_2 - i = -\left[\frac{R_f}{R_S}\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_S}\right] v_S = -\left(\frac{1}{R_S}\right)\left(1 + \frac{R_f}{R_2}\right) v_S$$

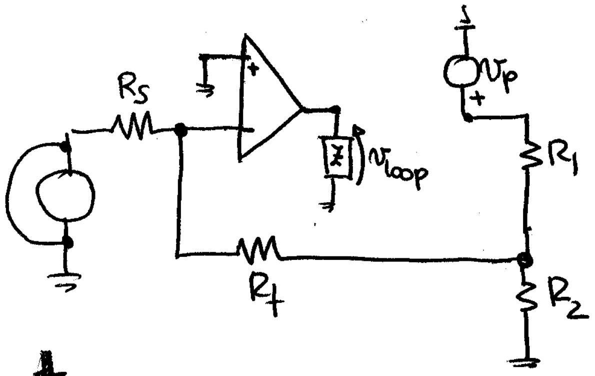
$$\downarrow$$

$$v_{out} = v_{(A)} + i_1 R_1 = -\frac{R_f}{R_S} v_S - \frac{R_1}{R_S}\left(1 + \frac{R_f}{R_2}\right) v_S$$

$$\downarrow$$

$$G_{ideale} = \frac{v_{out}}{v_S} = -\left[\frac{R_f}{R_S} + \frac{R_1}{R_S}\left(1 + \frac{R_f}{R_2}\right)\right] = -\left[\frac{1k}{1k} + \frac{100k}{1k}\left(1 + \frac{1k}{1k}\right)\right] = -201$$

GUADAGNO D'ANELLO



$$G_{loop} = \frac{v_{loop}}{v_P} = -\frac{R_2 \| (R_f + R_S)}{R_1 + [R_2 \| (R_f + R_S)]} \cdot \frac{R_S}{R_f + R_S} \cdot A \cong$$

$$= -\frac{1k \| (1k + 1k)}{100k + [1k \| (1k + 1k)]} \cdot \frac{1k}{1k + 1k} \cdot 10^4 =$$

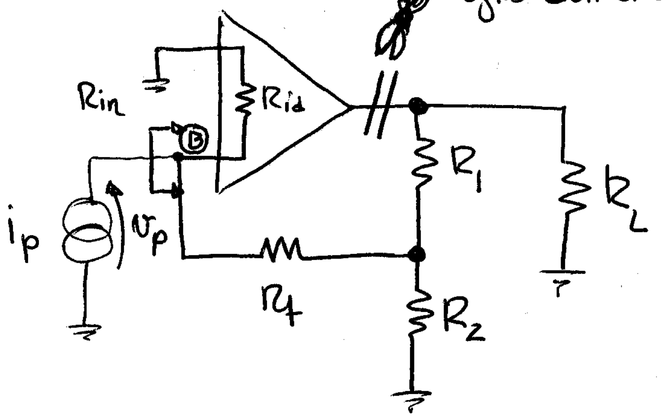
$$\cong -33$$

$$\downarrow$$

GUADAGNO REALE: $G_{reale} = \dfrac{G_{id}}{1 - 1/G_{loop}} = -\dfrac{201}{1 + 1/33} = -195$

(2) RESISTENZA DI INGRESSO

Taglio dell'anello per il calcolo di G^*_{loop}



$$R_{in} = \frac{v_p}{i_p}$$

Nel caso di retroazione ideale (B) è un nodo di Terra virtuale

➡ $R_{in}\big|_{ideale} = 0$, poiché la retroazione tende a fissare la tensione v_p del nodo (B) a zero, indipendentemente dal valore di corrente i_p iniettata.

⬇

$$R_{in}\Big|_{reale} = \frac{R^o_{in}}{1 - G^*_{loop}}$$

resistenza di ingresso che si vede una volta "disattivata" la retroazione

guadagno d'anello del circuito per il calcolo della resistenza di ingresso

N.B.: devo usare un generatore sonda di corrente per valutare la resistenza di ingresso, in questo caso, mediante la teoria della retroazione per non "spegnere" la retroazione.

$$R^o_{in} = R_{id} \parallel \left[R_4 + (R_2 \parallel R_1)\right] = 100k\Omega \parallel \left[1k\Omega + (1k\Omega \parallel 100k\Omega)\right] \simeq 2k\Omega$$

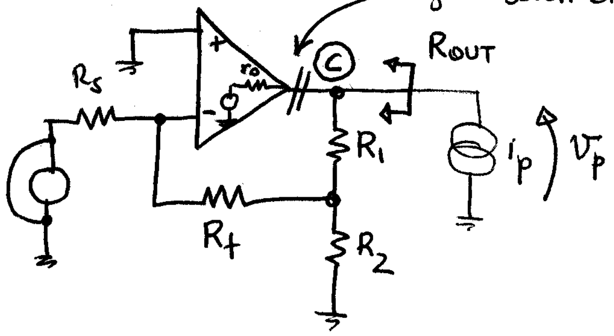
$$G^*_{loop} = -\frac{R_2 \parallel (R_4 + R_{id})}{R_1 + \left[R_2 \parallel (R_4 + R_{id})\right]} \cdot \frac{R_{id}}{R_4 + R_{id}} \cdot A_v = -\frac{1k \parallel (1k + 100k)}{100k + \left[1k \parallel (1k + 100k)\right]} \cdot \frac{100k}{1k + 100k} \cdot 10^4 =$$

$$\simeq -98$$

⇩

$$R_{in} = \frac{R^o_{in}}{1 - G^*_{loop}} = \frac{2k\Omega}{1 + 98} = 20.2\,\Omega$$

(3) RESISTENZA DI USCITA



$$R_{OUT} = \frac{v_p}{i_p}$$

Nel caso di retroazione ideale la retroazione tende a far sì che la tensione del nodo (C) non si muova, indipendentemente dal valore della corrente iniettata

$$\Downarrow$$

$$R_{OUT}\Big|_{ideale} = 0$$

$$\Downarrow$$

$$R_{OUT}\Big|_{reale} = \frac{R^{\circ}_{OUT}}{1 - \tilde{G}_{loop}}$$

resistenza di uscita che si vede una volta "disattivata" la retroazione

guadagno d'anello del circuito per il calcolo della resistenza di uscita

<u>N.B.</u> per valutare la resistenza di uscita R_{OUT} devo utilizzare, in questo caso un generatore di corrente per non "spegnere" la retroazione che tende a fissare la tensione del nodo (C).

$$R^{\circ}_{OUT} = r_o \,//\, \left[R_1 + \left(R_2 \,||\, (R_f + R_S)\right)\right] \simeq r_o = 1k\Omega$$

$$\tilde{G}_{loop} = -\frac{R_2 \,||\, (R_f+R_S)}{R_1 + \left[R_2 || (R_f+R_S)\right]} \cdot \frac{R_S}{R_f + R_S} \cdot A_v \cdot \underbrace{\frac{R_1 + R_2||(R_f+R_S)}{r_o + R_1 + R_2||(R_f+R_S)}}_{\simeq 1} \simeq -33$$

$$\Downarrow$$

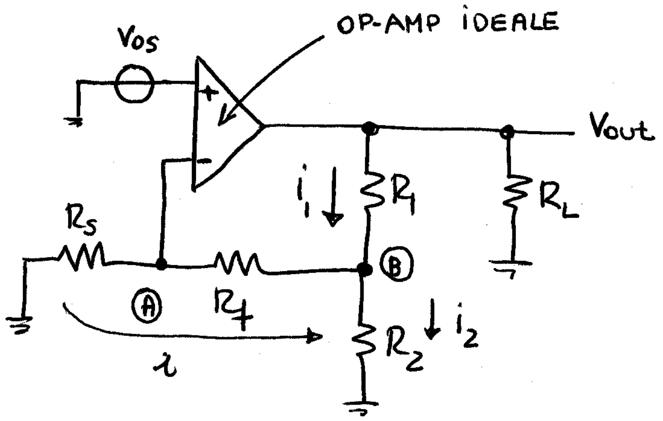
$$R_{OUT}\Big|_{reale} = \frac{R^{\circ}_{OUT}}{1 - \tilde{G}_{loop}} = \frac{1k\Omega}{1+33} = 29.4\Omega$$

Provate a ricalcolare la resistenza di uscita, tenendo conto anche della resistenza di ingresso finita R_{id} dell'op amp.

④ TENSIONE DI OFF-SET

PER COMODITÀ METTIAMO IL GENERATORE DI TENSIONE DI OFF-SET SUL MORSETTO NON-INVERTENTE E CONSIDERIAMO L'OP-AMP IDEALE.

ATT! NON CONOSCIAMO LA POLARITÀ DEL GENERATORE DI TENSIONE DI OFF-SET



$$i = -\frac{v_{Ⓐ}}{R_s} = \frac{V_{os}}{R_s}; \quad v_{Ⓑ} = +v_{Ⓐ} - iR_f = v_{Ⓐ} + \frac{R_f}{R_s}v_{Ⓐ}; \quad i_2 = \frac{v_{Ⓑ}}{R_2} = \left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)\frac{v_{Ⓐ}}{R_2}$$

$$i_1 = i_2 - i = \left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)\frac{v_{Ⓐ}}{R_2} + \frac{v_{Ⓐ}}{R_s} = v_{Ⓐ}\left[\left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_s}\right]$$

$\Downarrow$

$$V_{out} = v_{Ⓑ} + i_1 R_1 = \left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)v_{Ⓐ} + R_1\left[\left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_s}\right]v_{Ⓐ} =$$

$$= \left[\left(1+\frac{R_f}{R_s}\right)\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right) + \frac{R_1}{R_s}\right]V_{os} = \left[\left(1+\frac{1k}{1k}\right)\left(1+\frac{100k}{1k}\right) + \frac{100k}{1k}\right]V_{os} =$$

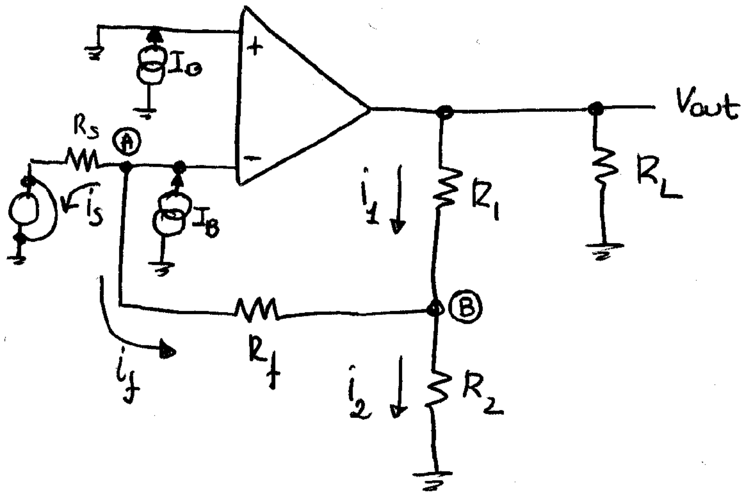
$$= 302\ V_{os}$$

$\Downarrow$

$$V_{out} = \pm\ 3.02\,V\ !!$$

MI RACCOMANDO RICORDARSI CHE LA POLARITÀ DEL GENERATORE DI TENSIONE DI OFF-SET NON È NOTA A PRIORI.

(5) CORRENTI DI BIAS



- IL GENERATORE I_B AL MORSETTO NON INVERTENTE NON DÀ ALCUN CONTRIBUTO ALL'USCITA POICHÉ TUTTA LA CORRENTE I_B È DRENATA A MASSA.

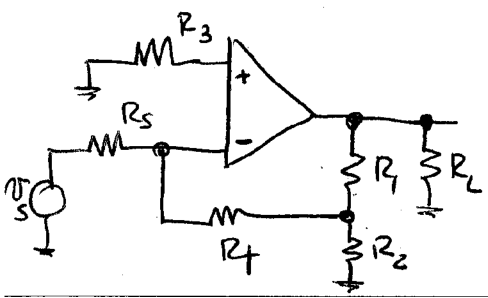
- CONSIDERIAMO IL GENERATORE I_B AL MORSETTO INVERTENTE:
  - $i_S = 0$ poiché A è un nodo di Terra virtuale
  - $i_f = I_B \Rightarrow v_B = -i_f R_f$
  - $i_2 = \dfrac{v_B}{R_2} = -\dfrac{I_B R_f}{R_2}$
  - $i_1 = i_2 - i_f = -I_B \dfrac{R_f}{R_2} - I_B = -I_B\left(1+\dfrac{R_f}{R_2}\right)$

$\Downarrow$

$$V_{out} = v_B + i_1 R_1 = -I_B R_f - I_B R_1\left(1+\frac{R_f}{R_2}\right) = -I_B\left[R_f + R_1\left(1+\frac{R_f}{R_2}\right)\right] =$$

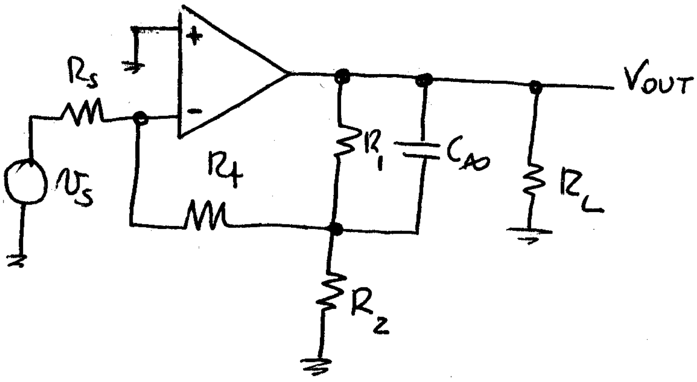
$$= -100\,mA\left[1k\Omega + 100\,k\Omega\left(1+\frac{1k\Omega}{1k\Omega}\right)\right] = -20\,mV$$

PER MINIMIZZARE L'EFFETTO DELLA CORRENTE DI BIAS SULLA TENSIONE DI USCITA È SUFFICIENTE PORRE UNA RESISTENZA R_3 IN SERIE AL MORSETTO NON INVERTENTE DI VALORE PARI AL VALORE DELLA RESISTENZA VISTA IN DC DAL MORSETTO INVERTENTE:

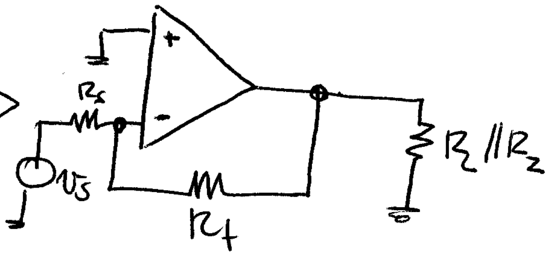


$$R_3 = R_S \,//\, \left[R_f + (R_2 \| R_1)\right] \simeq 667\Omega$$

⑥



$\Longrightarrow$



LA CAPACITÀ C_{A0} CORTOCIRCUITA LA RESISTENZA R_1; IL CIRCUITO SI RIDUCE, QUINDI, AD UN AMPLIFICATORE OPERAZIONALE IN CONFIGURAZIONE INVERTENTE CON UNA RESISTENZA DI CARICO SULL'USCITA DI VALORE $R_2 // R_L$.

$\downarrow$

- $G_{ideale} = -\left(\frac{R_f}{R_s}\right) = -1$

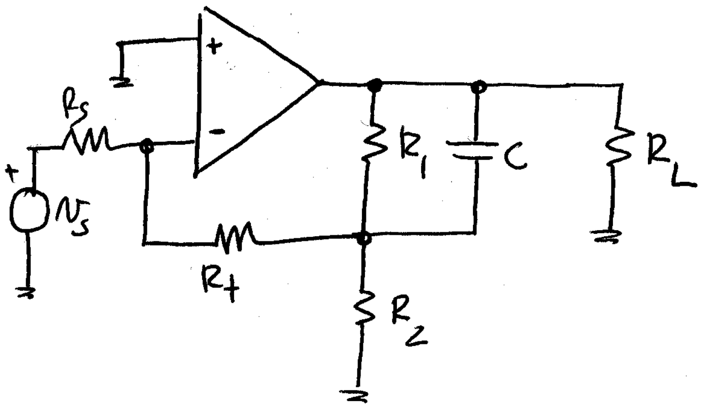
- $G_{loop} = -\frac{R_s}{R_s + R_f} \cdot A_v = -\frac{1k}{1k+1k} \cdot 10^4 = -5000 \Rightarrow G_{reale} \simeq G_{ideale}$

- $R_{in}\Big|_{ideale} = 0$ $\qquad R_{in}\Big|_{reale} = \frac{R_{in}^{\circ}}{1 - G^{*}_{loop}} = \frac{R_{id} // R_f}{1 + \frac{R_{id}}{R_{id} + R_f} A_v} = \frac{990\,\Omega}{1 + 9901} =$
$= 0.1\,\Omega$

- $R_{out}\Big|_{ideale} = 0$ $\qquad R_{out}\Big|_{reale} = \frac{R_{out}^{\circ}}{1 - \tilde{G}_{loop}} = \frac{r_o // (R_f + R_s)}{1 + \frac{R_s}{R_s + R_f} \cdot A_v \cdot \frac{R_f + R_s}{R_f + R_s + r_o}} =$

$\simeq \frac{667\,\Omega}{1 + 3333} = 0.2\,\Omega$

(7)

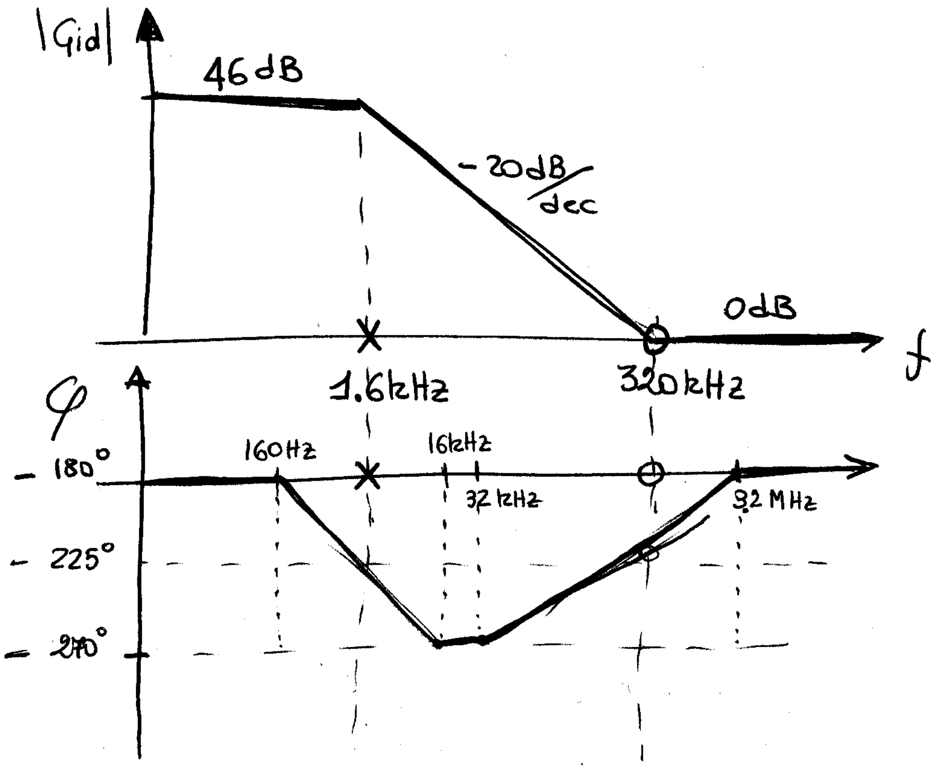


C introduce un polo con costante di tempo τ_p e può introdurre uno zero al finito. Sicuramente la capacità C introduce anche uno zero poiché sappiamo che $G_{id}(f \to \infty) = -1$

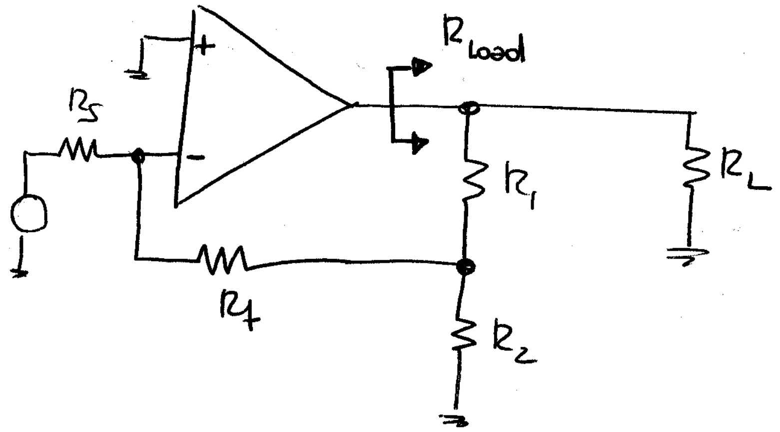
Possiamo facilmente calcolare l'espressione del guadagno ideale in frequenza osservando l'espressione del guadagno ideale calcolata al punto (1) e sostituendo ad R_1 l'espressione dell'impedenza $Z = R_1 \| \frac{1}{sC} = \frac{R_1}{1+sCR_1}$

$$G_{id}(s) = \frac{R_f}{R_s} + \frac{R_1/(1+sCR_1)}{R_s}\left(1+\frac{R_f}{R_2}\right) =$$

$$= \frac{\left[\frac{R_f}{R_s} + \frac{R_1}{R_s}\left(1+\frac{R_f}{R_2}\right)\right]\left[1 + sC\,\frac{R_1\, R_f/R_s}{R_f/R_s + R_1/R_s\left(1+R_f/R_2\right)}\right]}{(1+sCR_1)} = G_{id}(0)\,\frac{1+s\tau_z}{1+s\tau_p}$$



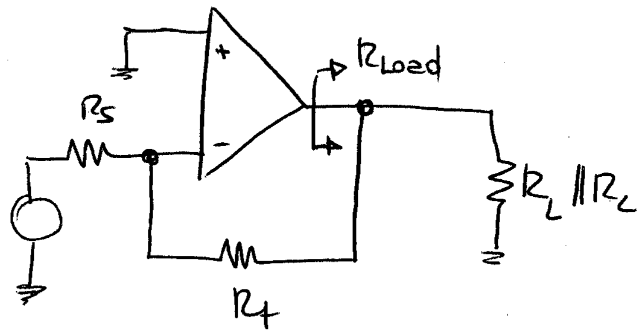
⑧ CIRCUITO "ORIGINALE"



$$R_{load} = R_L \,//\, \left[R_1 + \left(R_2 \,\|\, (R_f + R_S)\right)\right] = 2k \,//\, \left[100k + \left(1k \,\|\, (1k+1k)\right)\right] = 1.96k\Omega$$

⇓ il circuito "originale" può funzionare correttamente

CIRCUITO MODIFICATO PUNTO ⑥



$R_{load} = (R_L \| R_2) \,//\, (R_f + R_S) = 500\,\Omega < R_{min} = 1.5k\Omega \Rightarrow$ la tensione di uscita sarebbe limitata dalla massima corrente che l'operazionale può erogare in uscita e dunque il circuito non potrebbe più amplificare correttamente i segnali in ingresso.

Nel caso del circuito modificato come al punto ⑦ provate a calcolare quale è la massima frequenza a cui il circuito può ancora funzionare correttamente.

$$Z_{load} = R_L \,//\, \left[\frac{R_1}{1+sCR_1} + \left(R_2 \,\|\, (R_f + R_S)\right)\right]$$