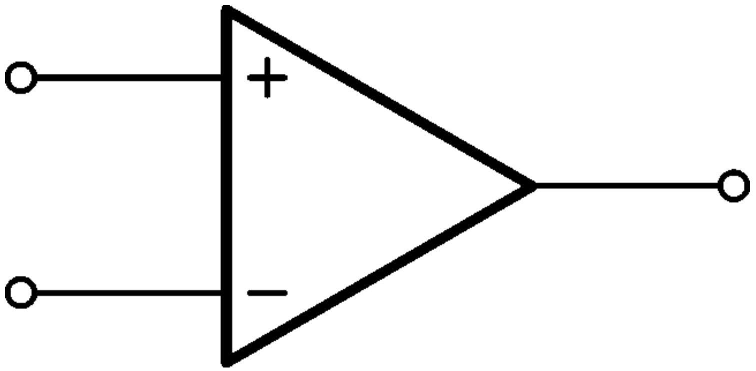
Elettronica Digitale
A.A. 2020-2021

Lezione 21/04/2021

Amplificatori operazionali – Metodo del corto circuito virtuale



$$\left.\begin{array}{l} v_o \text{ limitata} \\ A_{vol} \text{ molto elevata} \end{array}\right\} \rightarrow v_{in} \approx 0 \Leftrightarrow \boxed{v^+ \approx v^-} \Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array}}$$

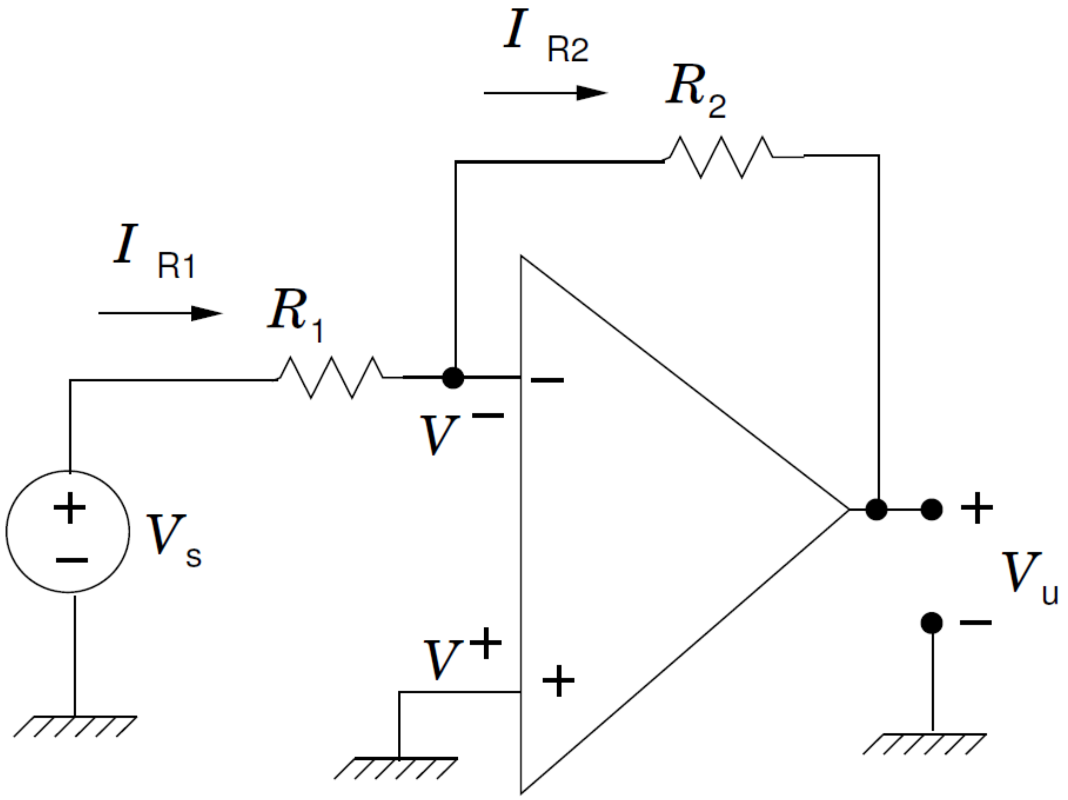
Applicabile se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

1. L'amplificatore operazionale non è saturo, ovvero funziona in zona lineare
2. Il modulo del guadagno di anello ($|\beta A|$) della rete in reazione nella quale l'operazionale è inserito è molto maggiore dell'unità

Amplificatori invertente

$$\boxed{v^+ \approx v^-} \Rightarrow V^- = V^+ = 0$$

$$\boxed{\begin{matrix} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{matrix}} \Rightarrow I_{R1} = I_{R2}$$



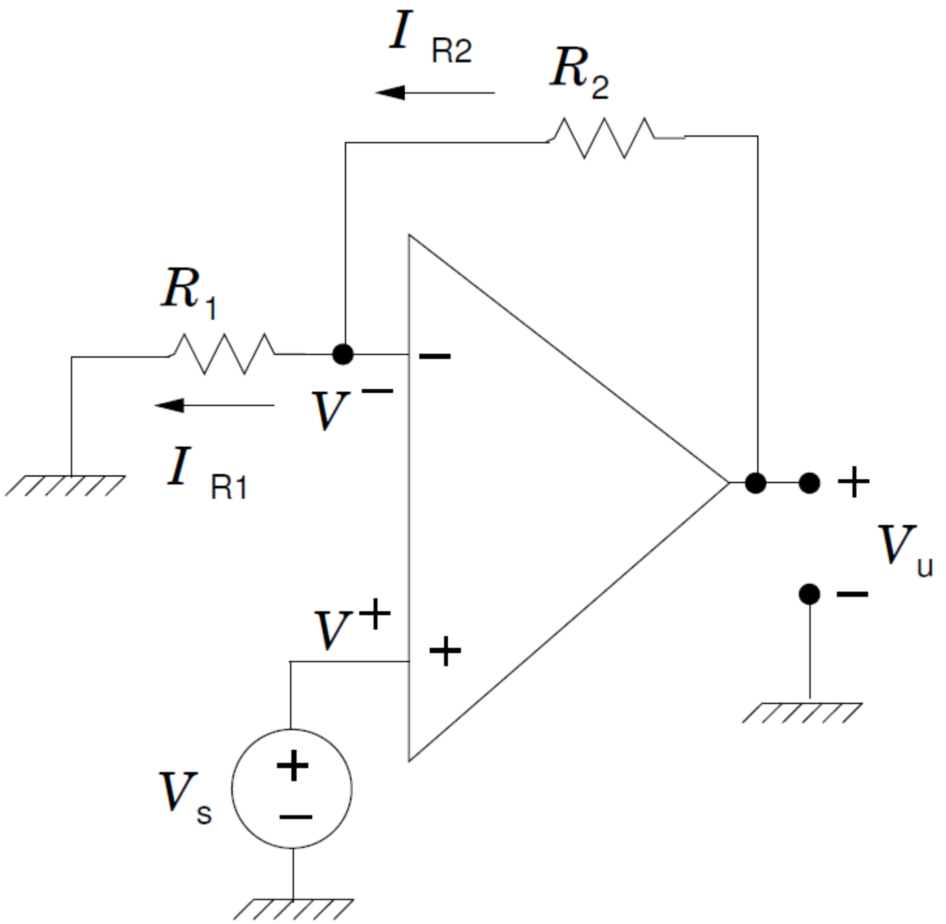
$$\boxed{A = \frac{V_u}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

$$\boxed{R_{of} \approx 0}$$

$$\left(I_{R1} = \frac{V_s}{R_1} \right) \Rightarrow \boxed{R_{if} = R_1}$$

Reazione di tensione

Amplificatori non invertente



$$\boxed{v^+ \approx v^-} \Rightarrow V^- = V^+ = V_s$$

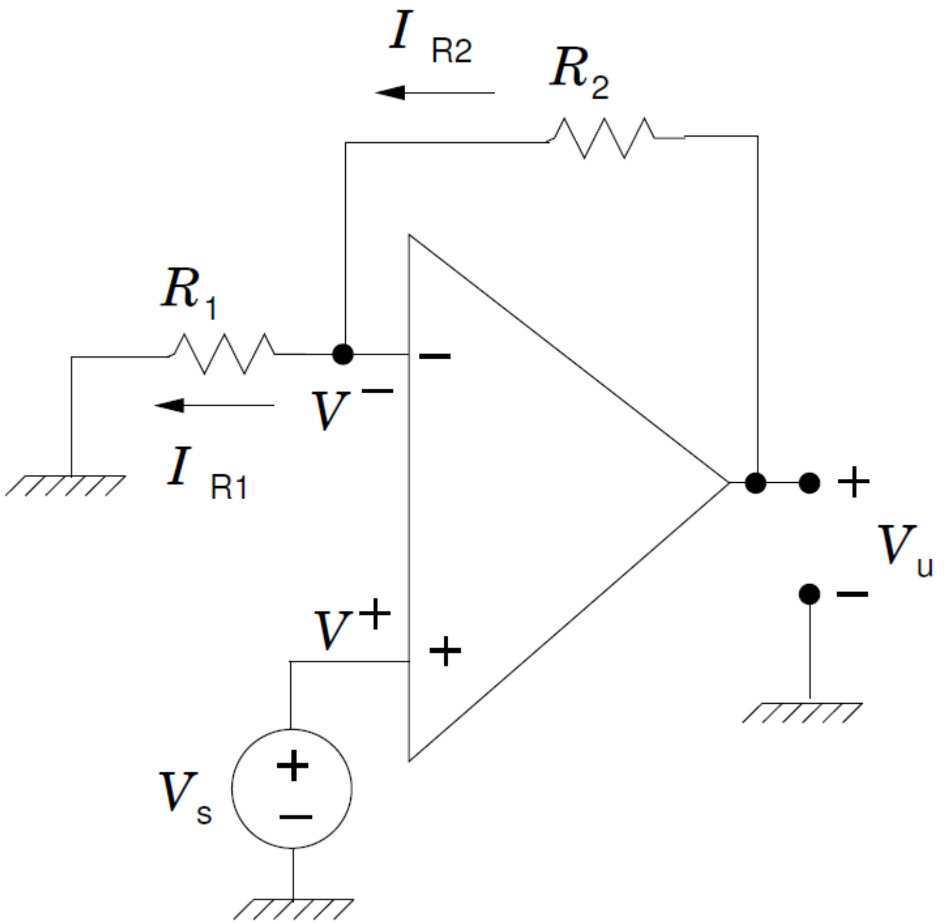
$$\boxed{\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array}} \Rightarrow I_{R1} = I_{R2}$$

$$\left.\begin{array}{l} I_{R1} = \dfrac{V^-}{R_1} = \dfrac{V_s}{R_1} \\ V_u = (R_2 + R_1) I_{R1} \end{array}\right\} V_u = (R_1 + R_2)\frac{V_s}{R_1} \Rightarrow \boxed{A = \frac{V_u}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Amplificatori non invertente

$$\boxed{v^+ \approx v^-} \Rightarrow V^- = V^+ = V_s$$

$$\boxed{\begin{matrix} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{matrix}} \Rightarrow I_{R1} = I_{R2}$$



$$\boxed{A = \frac{V_u}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

$$\boxed{R_{of} \approx 0} \qquad \boxed{R_{if} \to \infty}$$

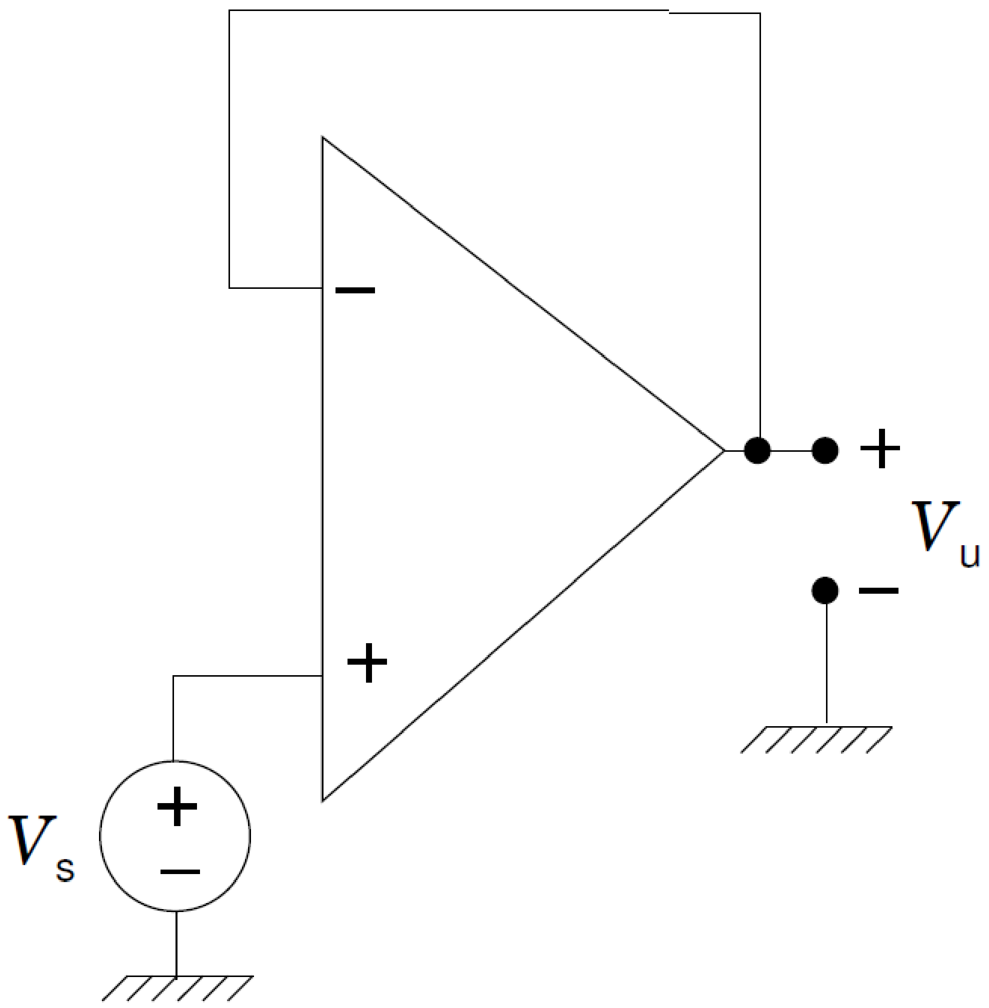
Reazione di tensione

Amplificatore non invertente - Buffer

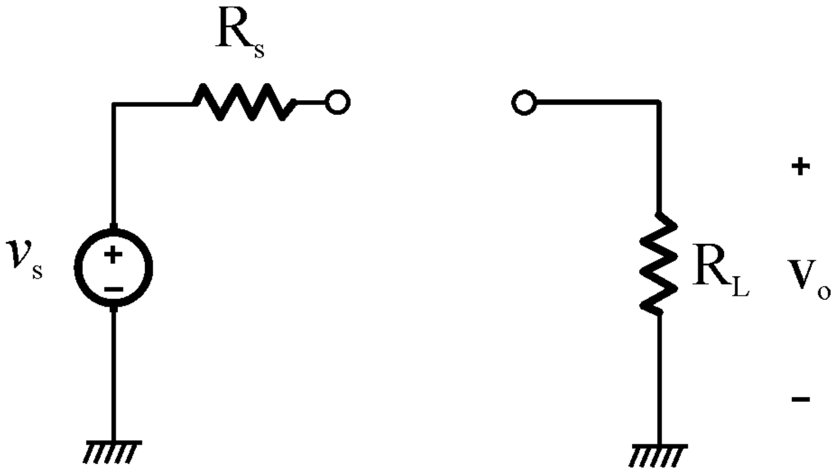
$$A = \frac{V_u}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 0 \Rightarrow \boxed{A = 1}$$

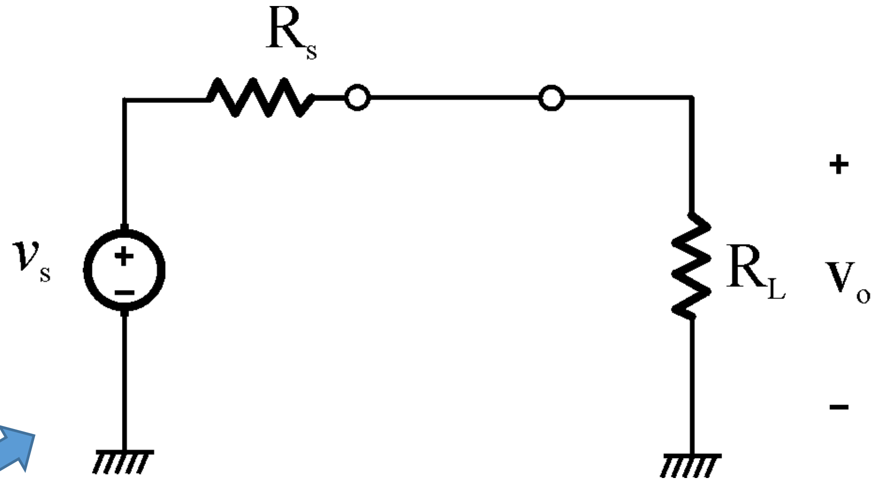
$$\boxed{R_{of} \approx 0} \quad \boxed{R_{if} \to \infty}$$



Amplificatore non invertente - Buffer

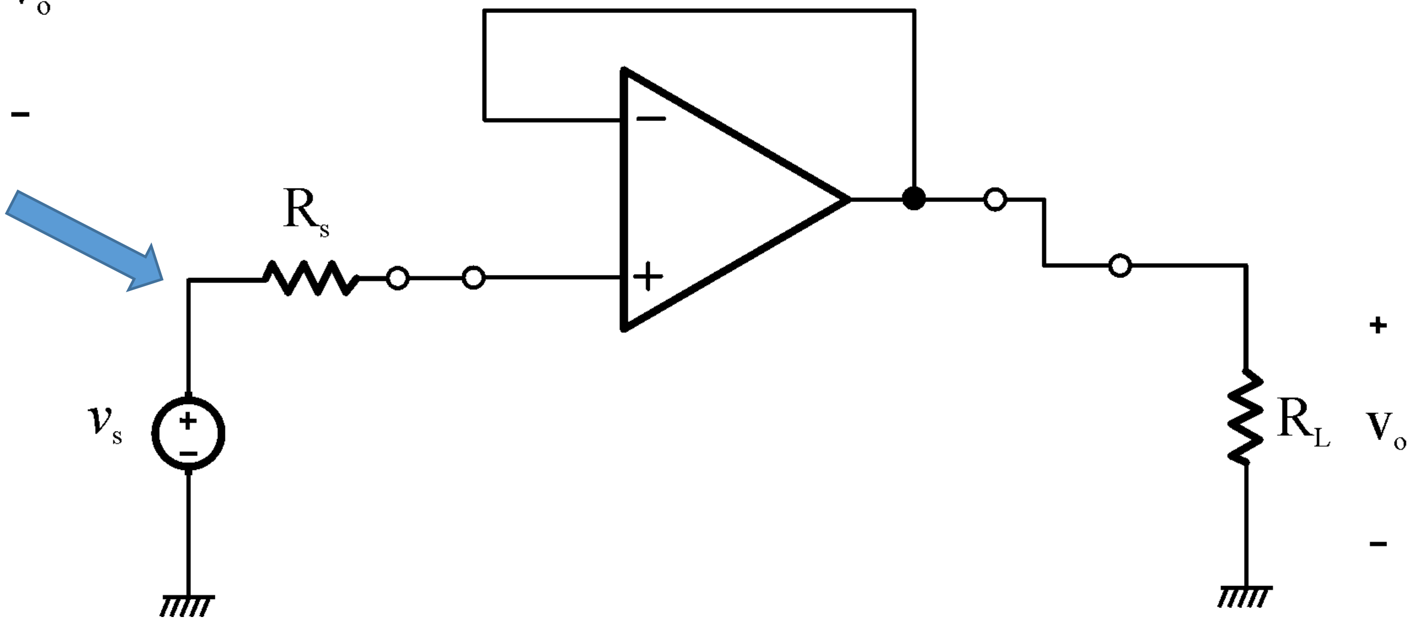


$$R_S = 1\,k\Omega \qquad R_L = 10\,\Omega$$



$$V_o = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

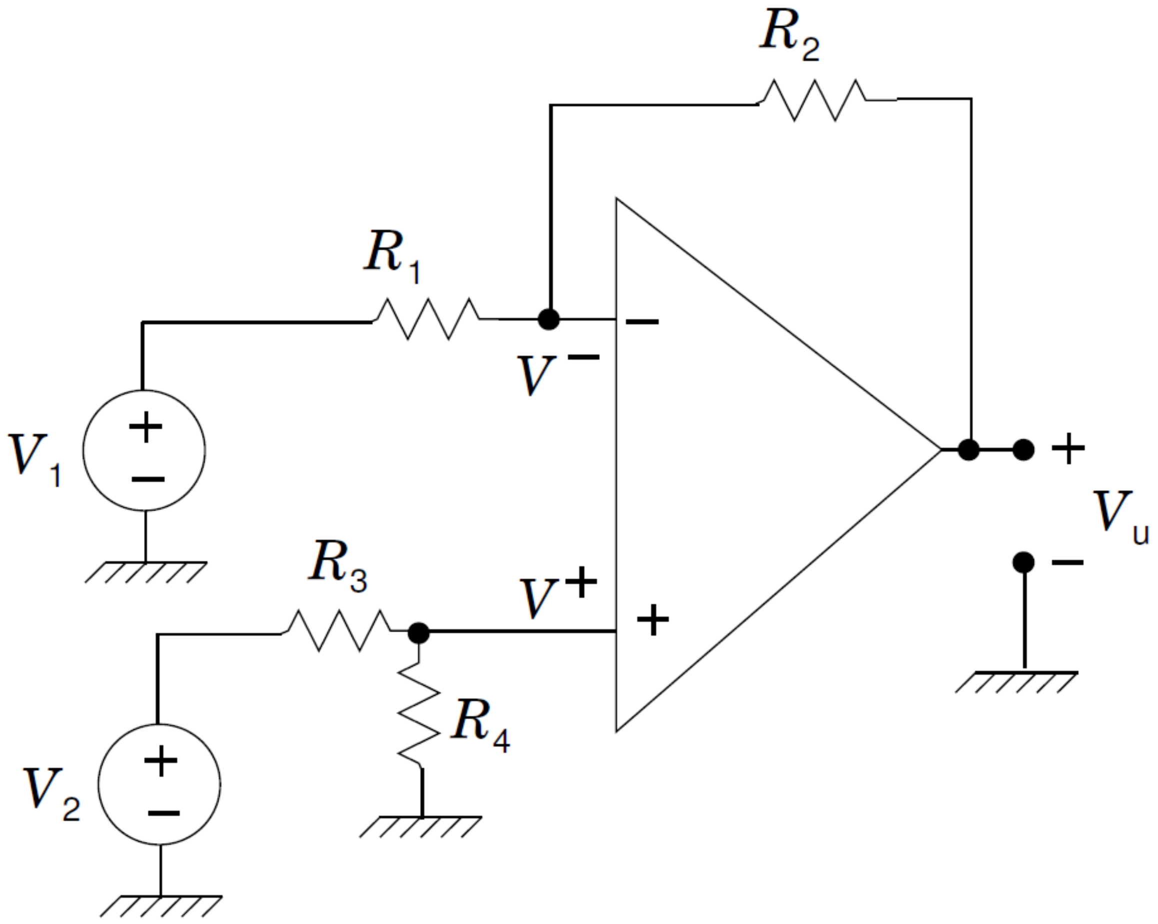
$$= \frac{10}{1010} V_S \approx 10^{-2} V_S$$



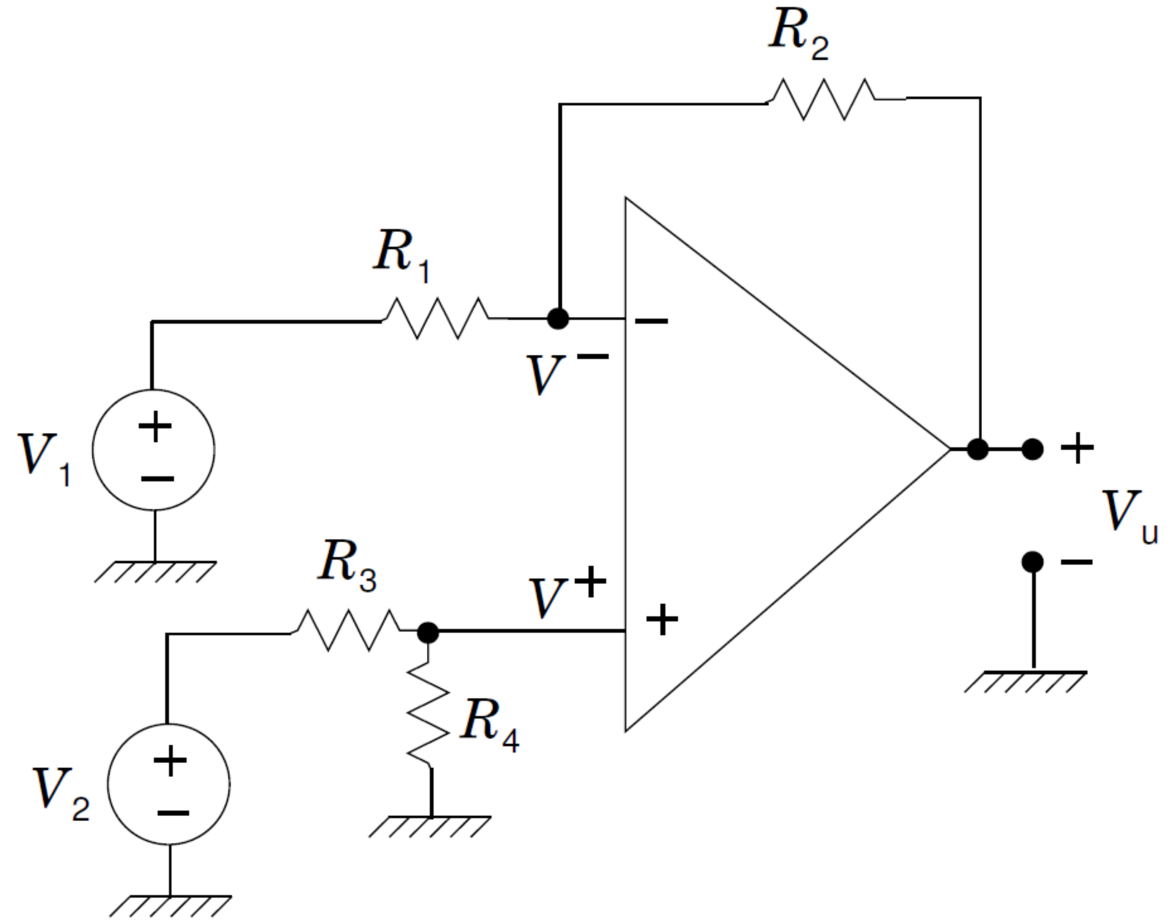
$$\boxed{V_o = V_S}$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)

Necessità di disporre di un amplificatore differenziale il cui guadagno sia finito, predicibile e stabile



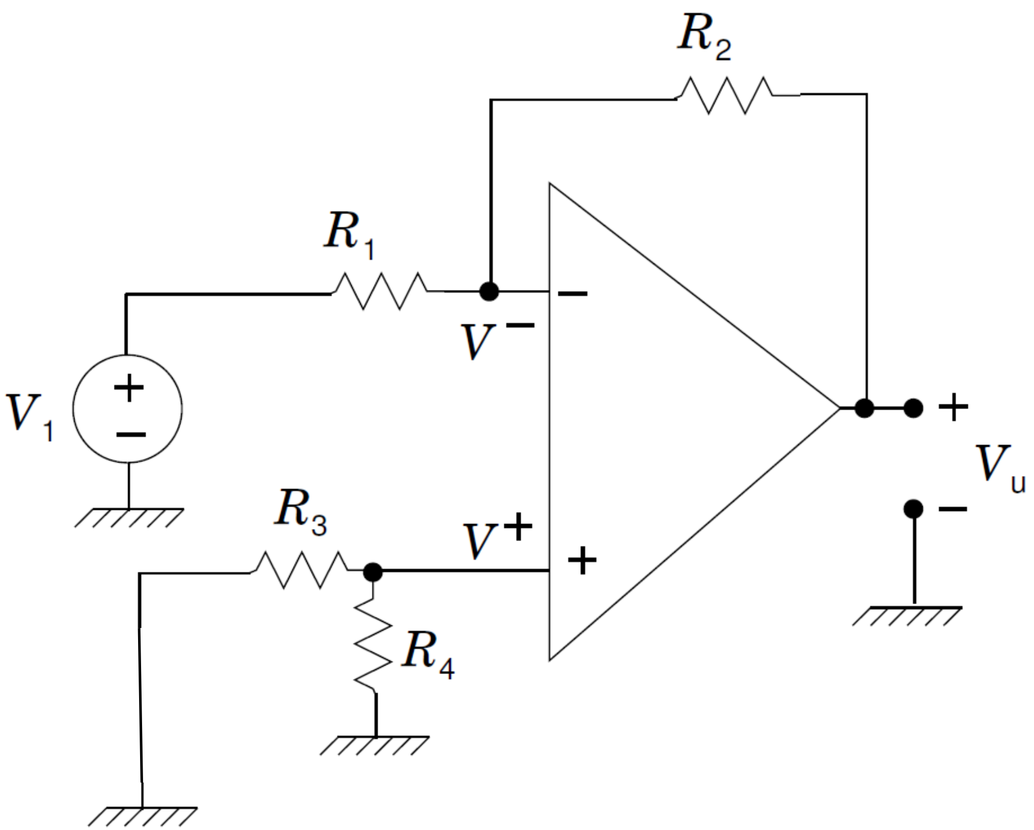
Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



L'analisi del circuito impiega:

1. Metodo del corto circuito virtuale (c.c.v.)
2. Principio di sovrapposizione degli effetti

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



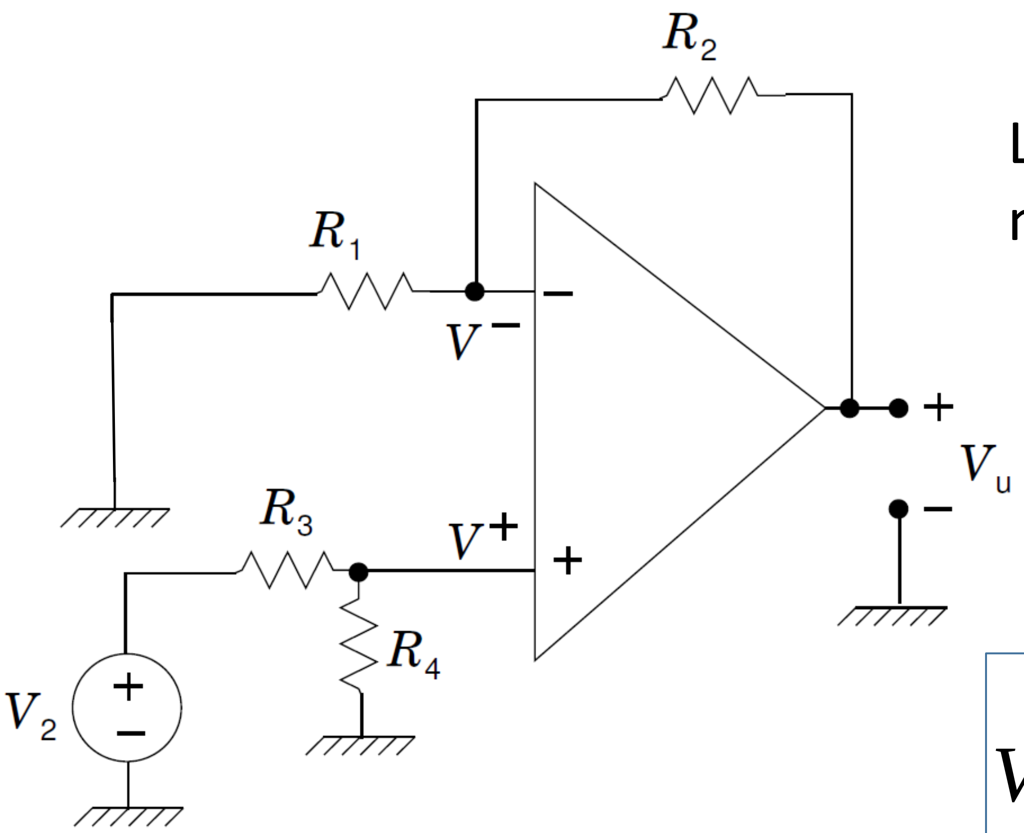
$$\boxed{V_2 = 0}$$

$$V^+ = 0$$

La configurazione è analoga a quella di un amplificatore invertente

$$\boxed{V_{u1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1}$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



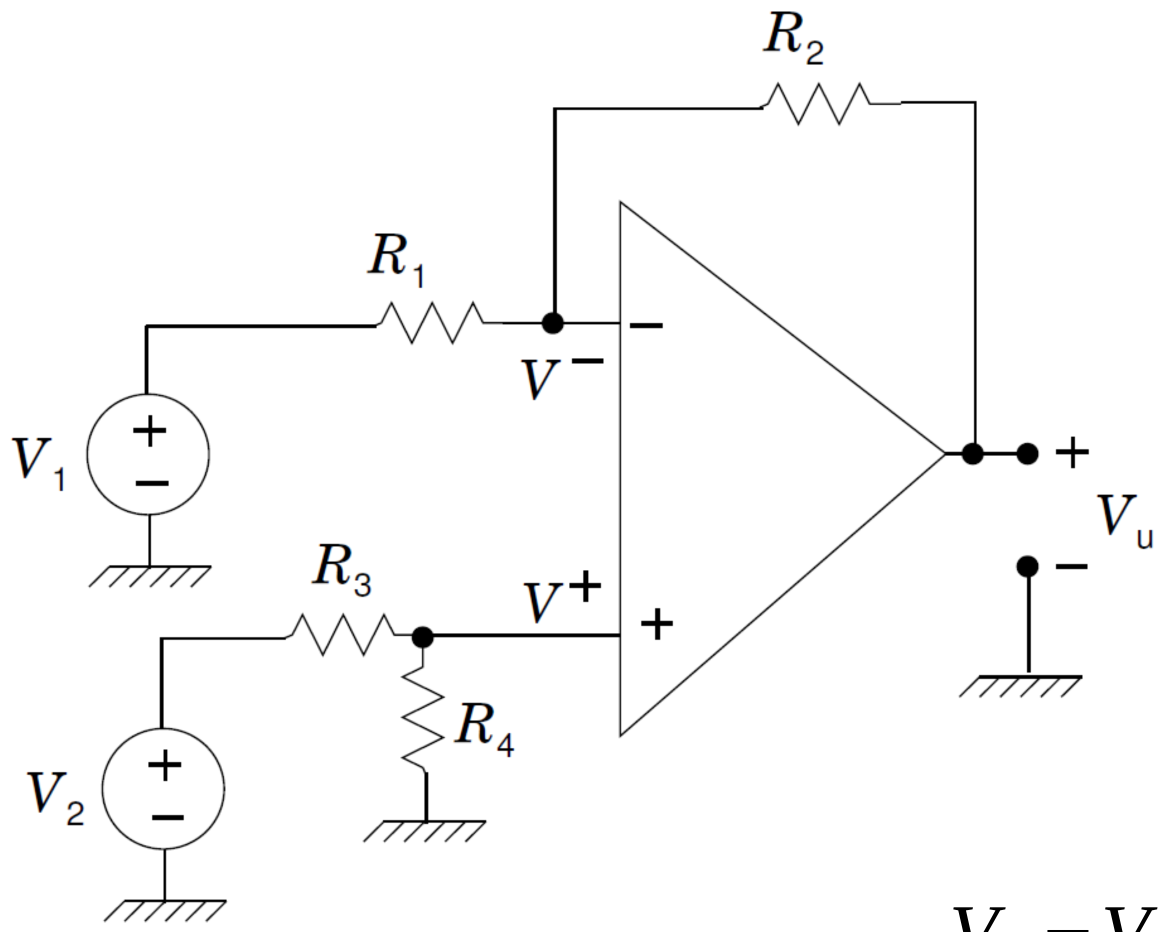
$$\boxed{V_1 = 0}$$

La configurazione è analoga a quella di un amplificatore non invertente

c.c.v. $\quad i^+ = 0 \qquad V^+ = V_2 \dfrac{R_4}{R_3 + R_4}$

$$\boxed{V_{u2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V^+ = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2}$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)

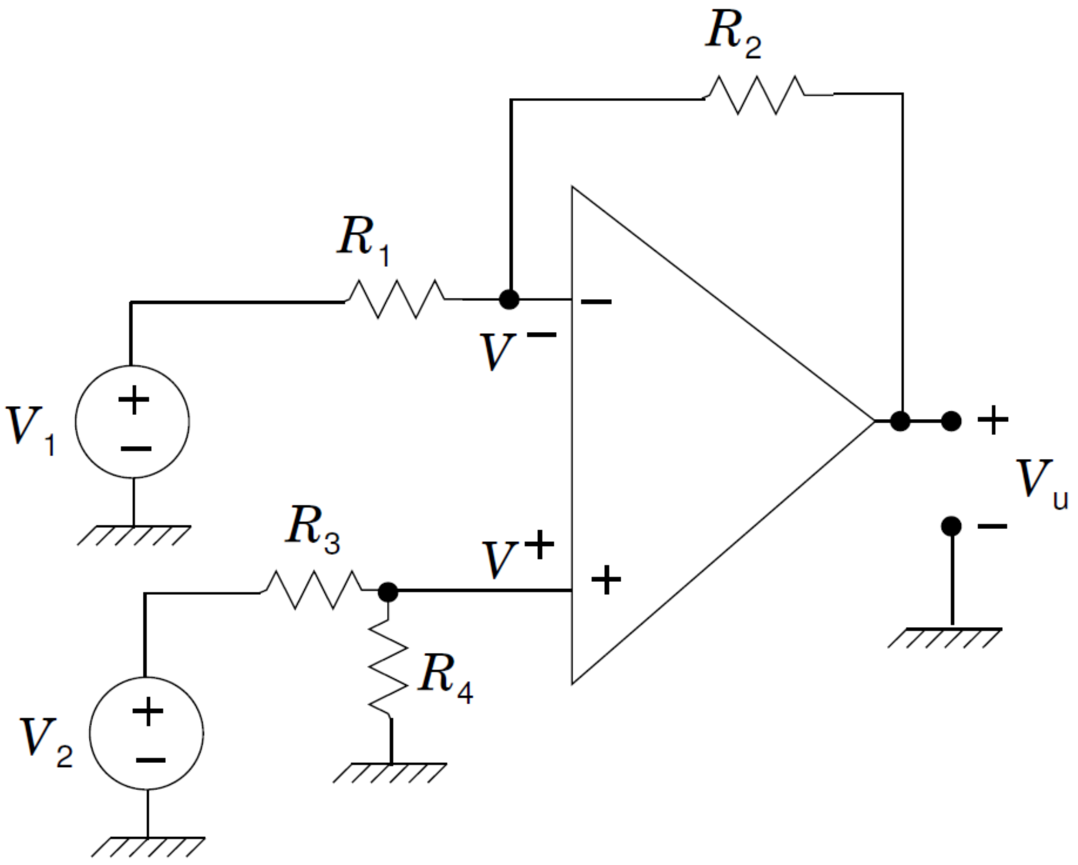


$$V_{u1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

$$V_{u2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

$$V_u = V_{u1} + V_{u2} = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}V_2$$

Imponiamo che la tensione di uscita sia nulla nel caso in cui le due tensioni di ingresso siano uguali

$$V_1 = V_2 \rightarrow V_u = 0$$

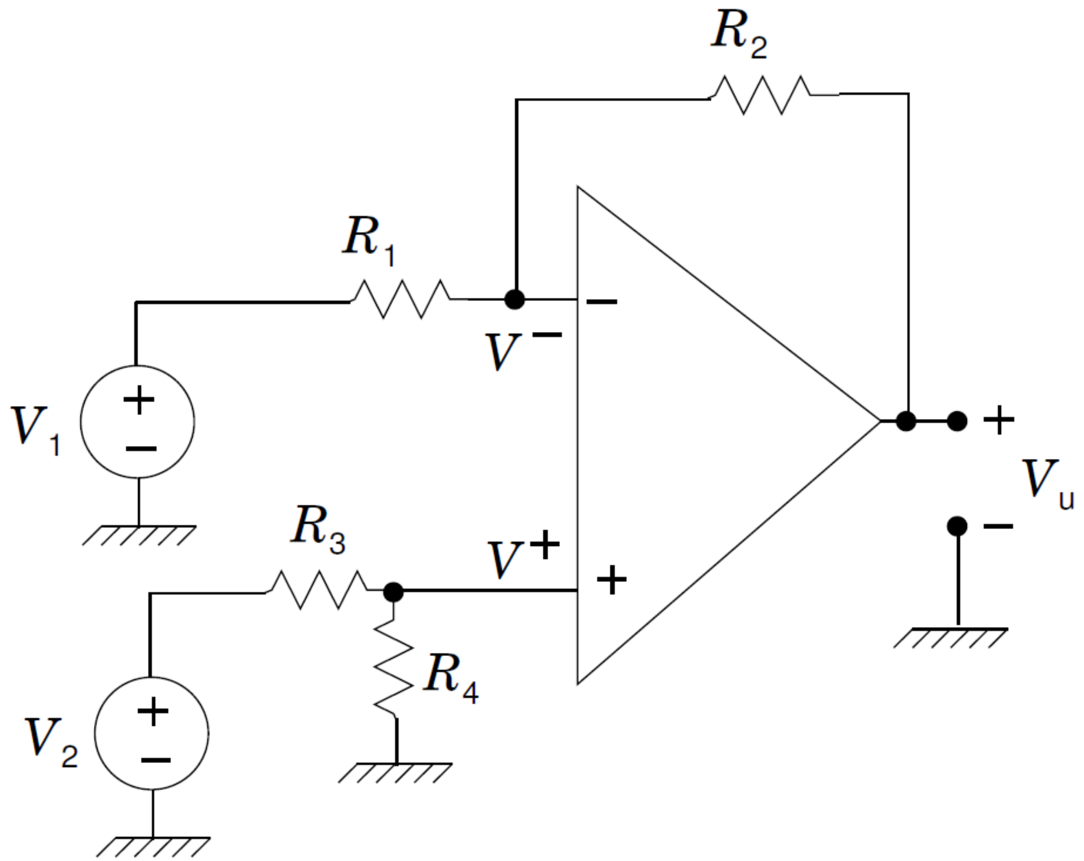
$$\frac{R_2}{R_1} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$\frac{R_3+R_4}{R_4} = \frac{R_1+R_2}{R_1}\frac{R_1}{R_2}$$

$$1+\frac{R_3}{R_4} = 1+\frac{R_1}{R_2}$$

$$\boxed{\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}}$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



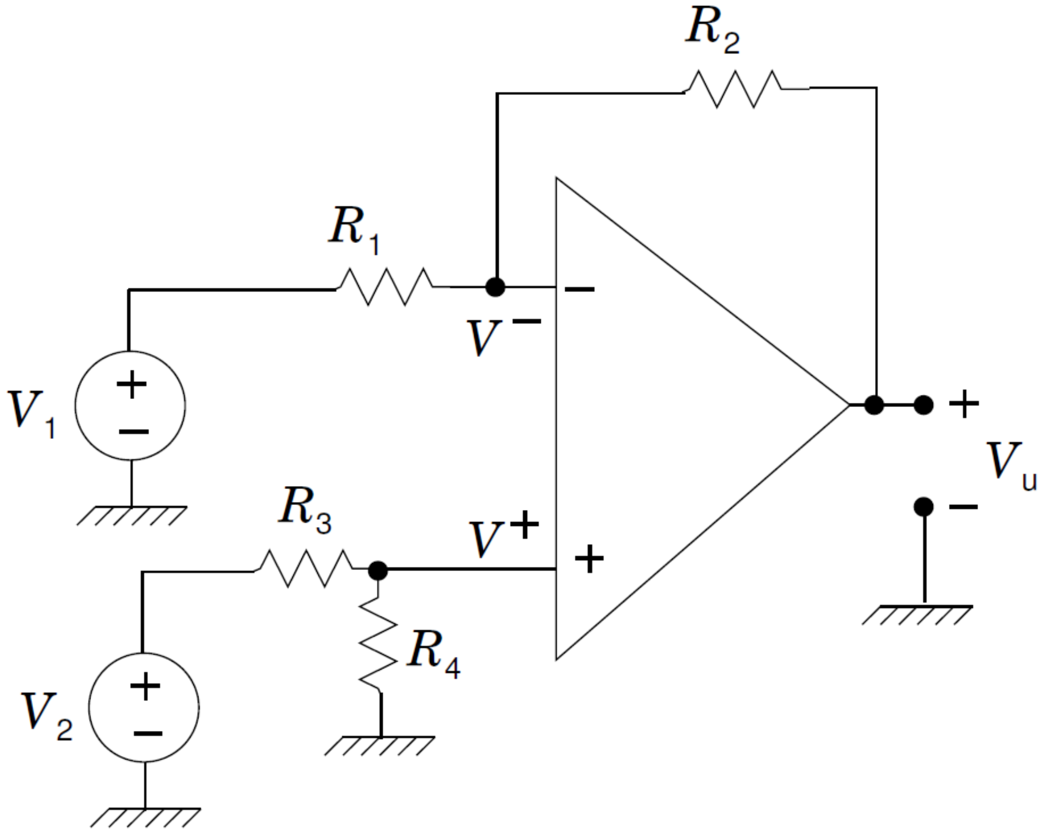
$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}V_2$$

$$\boxed{\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\frac{R_3}{R_4}+1}V_2$$

$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\frac{R_1}{R_2}+1}V_2 = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \frac{R_1+R_2}{R_1}\frac{R_2}{R_1+R_2}V_2 = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \frac{R_2}{R_1}V_2$$

Amplificatore differenziale (amplificatore di differenza)



$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}V_2$$

$$\boxed{\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_u = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \frac{R_2}{R_1}V_2$$

$$\boxed{V_u = \frac{R_2}{R_1}\left(V_2 - V_1\right)}$$

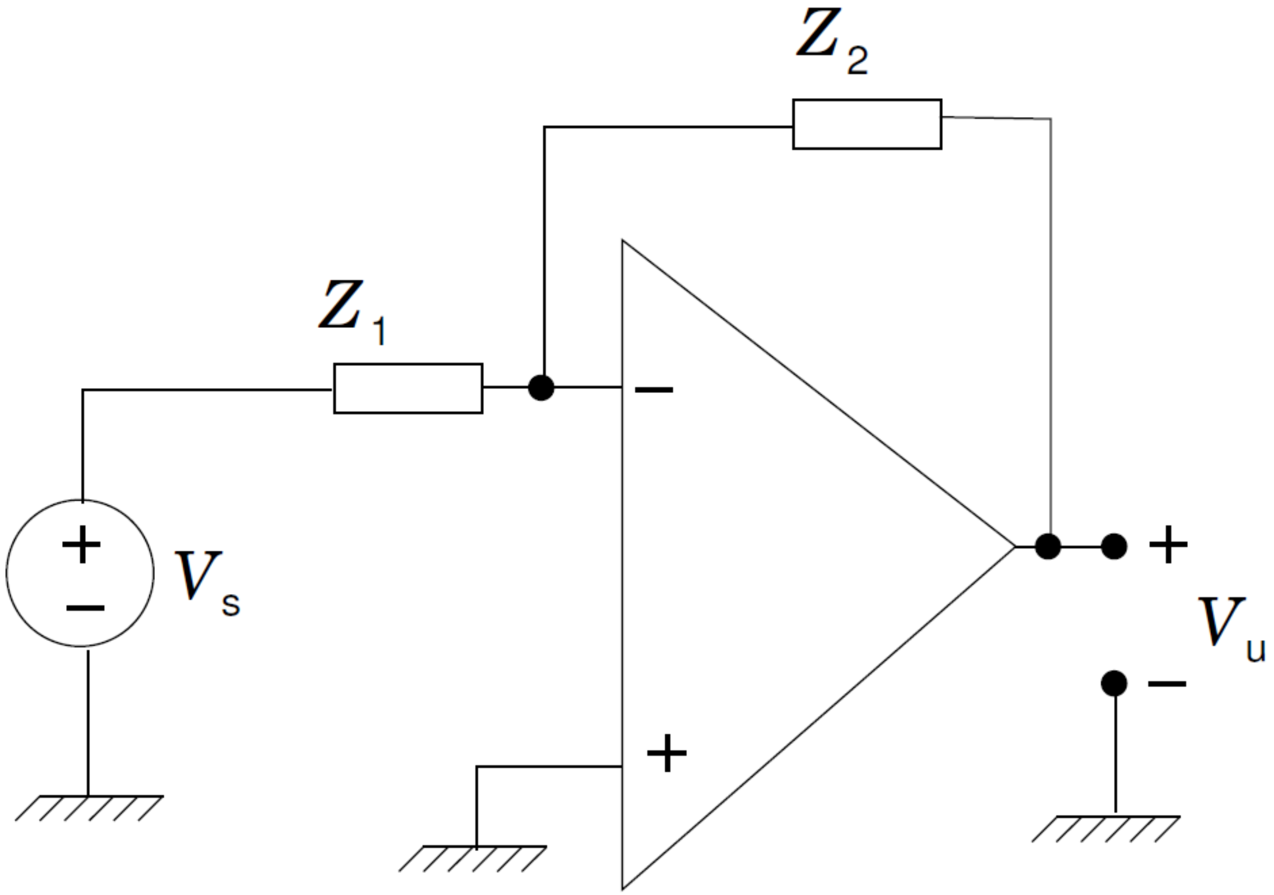
$$\begin{cases} A_d = \dfrac{R_2}{R_1} \Rightarrow CMRR \to \infty \\ A_c = 0 \end{cases}$$

$$\boxed{R_{i1}\Big|_{V_2=0} = R_1}$$

$$\boxed{R_{i2}\Big|_{V_1=0} = R_3 + R_4}$$

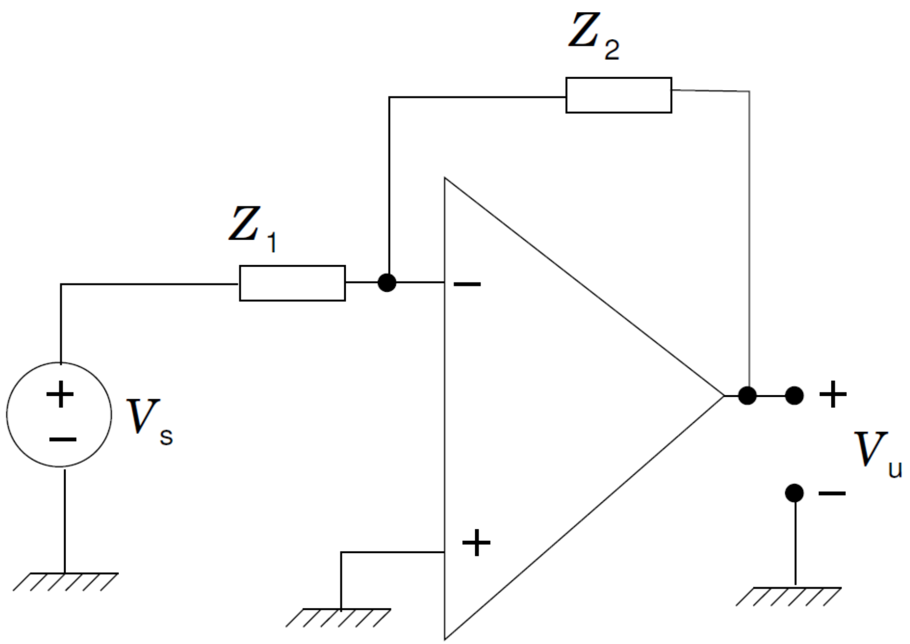
$$\boxed{R_{out} \approx 0}$$

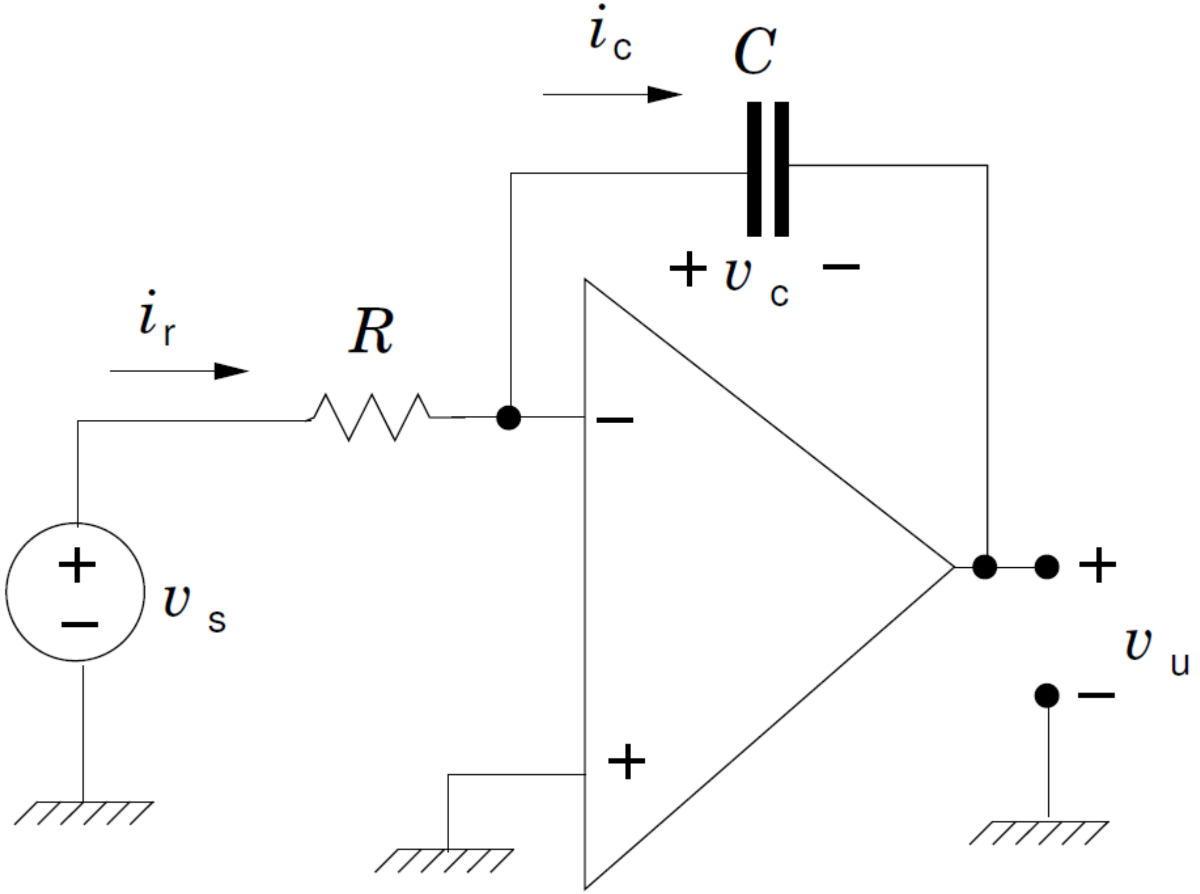
Integratore di Miller



$$\boxed{\frac{V_u(s)}{V_S(s)} = -\frac{Z_2}{Z_1}}$$

Integratore di Miller



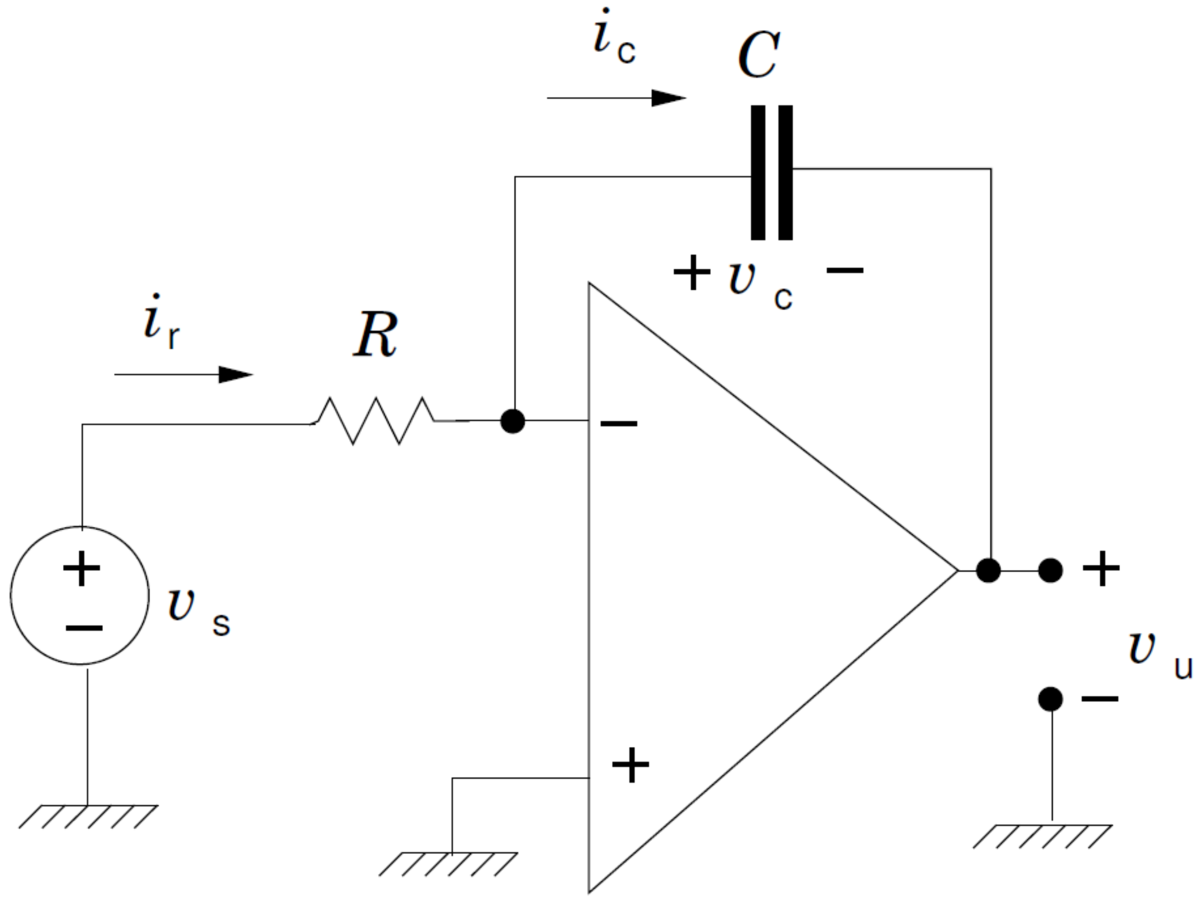


$$\boxed{\frac{V_u(s)}{V_S(s)} = -\frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$Z_1 = R \qquad Z_2 = \frac{1}{Cs}$$

$$\frac{V_u(s)}{V_s(s)} = -\frac{1}{RCs} \iff \boxed{v_u(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^t v_s(\tau)d\tau + v_u(0)}$$

Integratore di Miller



c.c.v. $V^- = V^+ = 0 \Rightarrow i_r = \dfrac{v_s}{R}$

c.c.v. $i^- = 0 \Rightarrow i_c = i_r = \dfrac{v_s}{R}$

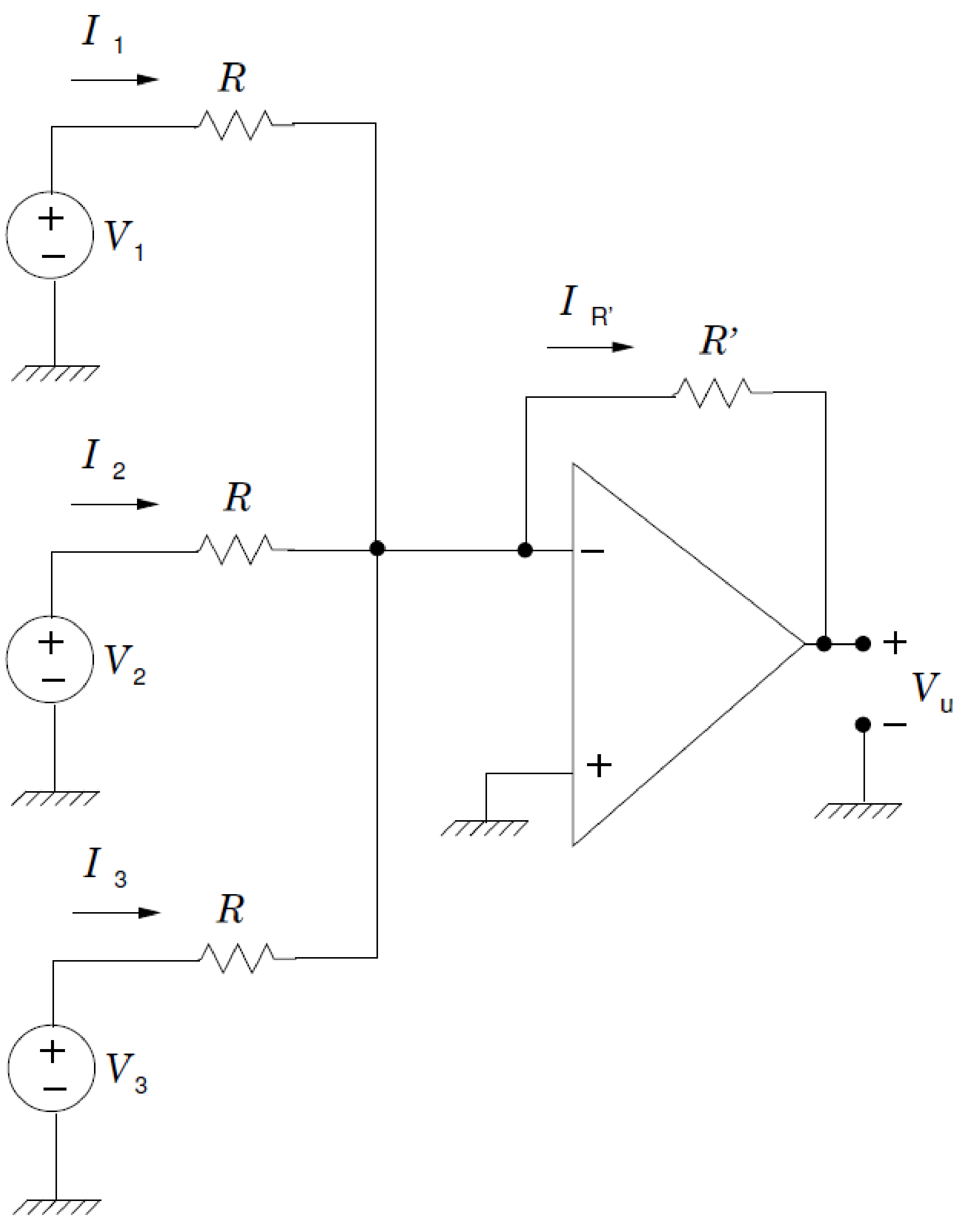
$$\begin{cases} i_c = C\dfrac{dv_c}{dt} \\ v_u = -v_c \end{cases} \Rightarrow \frac{dv_u}{dt} = -\frac{i_c}{C}$$

$$\frac{dv_u}{dt} = -\frac{v_s}{RC}$$

$$\boxed{v_u(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^t v_s(\tau)\,d\tau + v_u(0)}$$

Il circuito non è stabile sulla base del criterio BIBO (Bounded Input – Bounded Output)

Sommatore



c.c.v. $V^- = V^+ = 0$

$$I_1 = \frac{V_1}{R} \qquad I_2 = \frac{V_2}{R} \qquad I_3 = \frac{V_3}{R}$$

c.c.v. $i^- = 0 \Rightarrow I_{R'} = I_1 + I_2 + I_3$

$$V_u = -R' I_{R'} = -R'\left(I_1 + I_2 + I_3\right)$$

$$\boxed{V_u = -\frac{R'}{R}\left(V_1 + V_2 + V_3\right)}$$