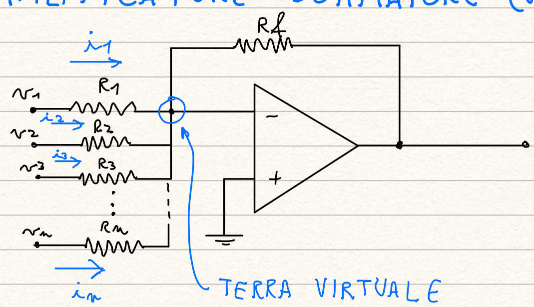
AMPLIFICATORE SOMMATORE, AMPLIFICATORE DELLE DIFFERENZE, L'AMPLIFICATORE OPERAZIONALE REALE: TENSIONE DI OFFSET, CORRENTI DI BIAS

AMPLIFICATORE SOMMATORE (VOLTAGE ADDER, SUMMER AMPLIFIER, INVERTING ADDER)



$$i_i = \frac{v_i}{R_i} \begin{cases} i_1 = v_1/R_1 \\ i_2 = v_2/R_2 \\ i_3 = v_3/R_3 \end{cases}$$

bilancio di correnti al nodo ⊖

$$i_f = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

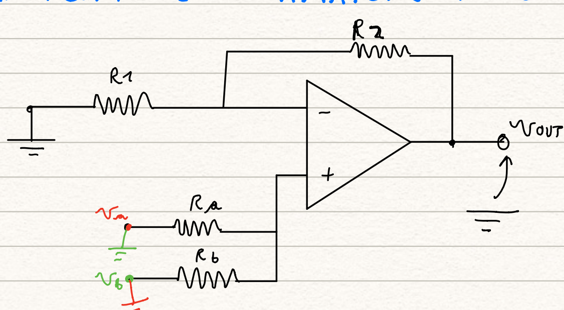
$$v_{OUT} = -v_f = -i_f R_f = -\left[\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}\right] \cdot R_f$$

legge di ohm

config. invertente

somma pesata delle tensioni d'ingresso

AMPLIFICATORE SOMMATORE IN CONFIG. NON INVERTENTE:



princ. sovrapposizione degli effetti

v_a|

$$v^+|_{v_a} = \frac{R_b}{R_b+R_a} v_a$$

$$v_{OUT}|_{v_a} = \underbrace{\frac{R_b}{R_b+R_a} v_a}_{v^+|_{v_a}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

v_b|

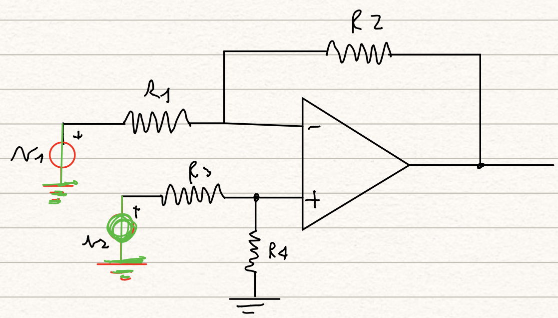
$$v^+|_{v_b} = \frac{R_a}{R_a+R_b} v_b$$

$$v_{OUT}|_{v_b} = \underbrace{\frac{R_a}{R_a+R_b}}\, v_b \left(1 + R_2/R_1\right)$$

$v_+ | v_b$

$$V_{OUT} = \frac{R_a // R_b}{R_C + R_a // R_b} \cdot V_C$$

AMPLIFICATORE DELLE DIFFERENZE:



princ. sovrapposizione effetti

$\underline{v_1|}$ config. invertente

$$V_{OUT}\Big|_{v_1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1$$

$\underline{v_2|}$ $v^+\Big|_{v_2} = \frac{R_4}{R_3+R_4} v_2$

config non invertente per v_+

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v^+\Big|_{v_2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3+R_4} v_2$$

$$V_{OUT} = V_{OUT}\Big|_{v_1} + V_{OUT}\Big|_{v_2} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot v_2$$

per amplificare la sola differenza tra le tensioni d'ingresso

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

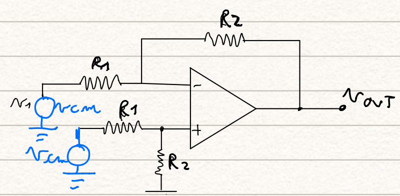
$$\frac{R_2}{\cancel{R_1}} = \frac{(R_1+R_2)}{\cancel{R_1}} \cdot \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$R_3 R_3 + R_2 R_4 = R_1 R_4 + R_2 R_4$$

$$R_2 R_3 = R_1 R_4$$

$$\boxed{\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}} \longrightarrow \boxed{V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)} \longrightarrow G_{diff} = \frac{R_2}{R_1}$$

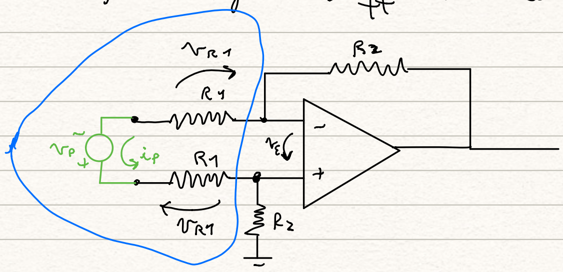
se $R_1 = R_3$
$R_2 = R_4$



su segnale di modo comune (v_{cm}) $v_{OUT} = 0$!!

$$G_{cm} \triangleq \frac{v_{OUT}}{v_{cm}} = 0 \longrightarrow CMRR = \left|\frac{G_{diff}}{G_{cm}}\right| = \infty$$

resistenza di ingresso differenziale dell'amplificatore delle differenze:



$$R_{in\,diff} \triangleq \frac{v_P}{i_P}$$

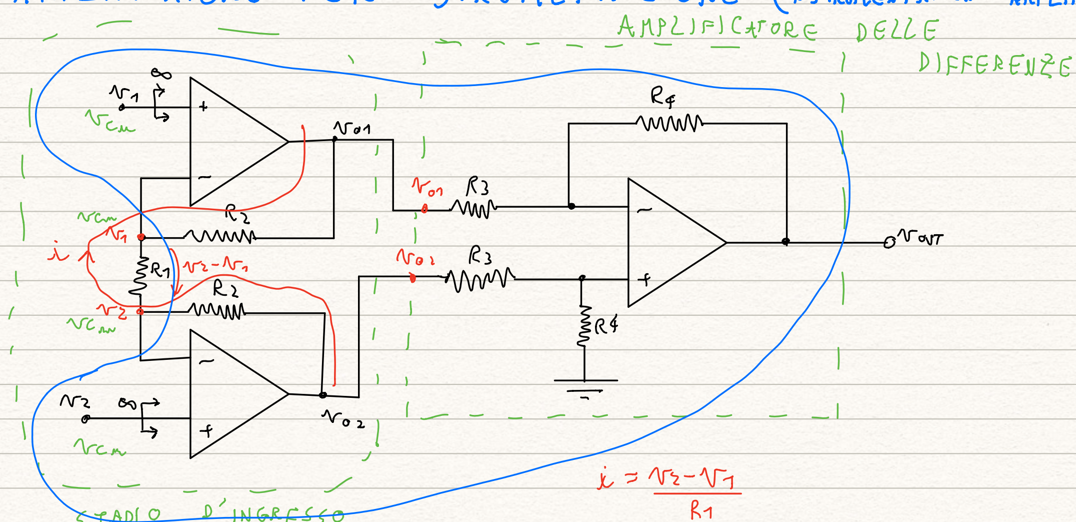
$= 0$ grazie alla retroazione ideale

$$v_P = v_{R1} + v_\varepsilon + v_{R1} =$$

$$= i_P R_1 + 0 + i_P R_1 = 2 R_1 i_P$$

$$R_{in\,diff} = 2R_1$$

AMPLIFICATORE PER STRUMENTAZIONE (INSTRUMENTATION AMPLIFIER, "INA")



$$i = \frac{v_2 - v_1}{R_1}$$

$$v_{o2} - v_{o1} = i\,(R_2 + R_1 + R_2) = \frac{2R_2 + R_1}{R_1}\,(v_2 - v_1)$$

$$v_{OUT} = \frac{R_4}{R_3}\,(v_{o2} - v_{o1}) = \frac{R_4}{R_3}\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)(v_2 - v_1)$$

$$G_{diff} = \frac{R_4}{R_3}\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

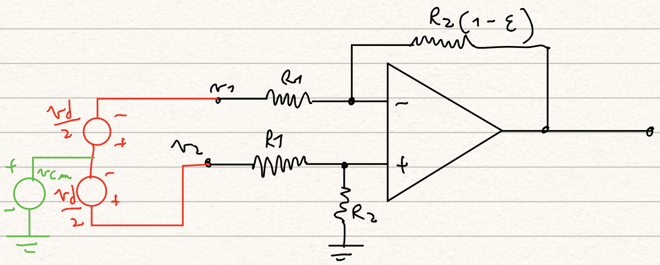
in un INA commerciale R_1 aggiunta dall'utilizzatore del valore appropriato segnale di modo comune v_{cm}: • differenza di potenziale ai capi di R_1 è nulla

• $i = 0$

• $v_{o2} = v_{o1} = v_{cm}$, cioè lo stadio d'ingresso è un buffer

$$v_{OUT}\Big|_{v_{cm}} = 0 \longrightarrow G_{cm} = 0$$

EFFETTO DI UN MISMATCH DELLE RESISTENZE IN UN AMPLIFICATORE DELLE DIFFERENZE



$$v_1 = v_{cm} - v_d/2$$
$$v_2 = v_{cm} + v_d/2$$

$$\begin{cases} v_2 - v_1 = v_d \\ \dfrac{v_2 + v_1}{2} = v_{cm} \end{cases}$$

PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI

$$v_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left[1 + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right]\left(v_{cm} + \frac{v_d}{2}\right) - \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\left[v_{cm} - \frac{v_d}{2}\right] =$$

$$= \left\{\frac{R_2}{R_1+R_2}\left[1 + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right] - \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right\} v_{cm} + \left\{\frac{R_2}{R_1+R_2}\left[1 + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right] + \right.$$

$$\left. + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right\}\frac{v_d}{2} = G_{cm} v_{cm} + G_{diff} v_d$$

$$G_{cm} = \frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_2}{R_1+R_2}\frac{R_2}{R_1}(1-\varepsilon) - \frac{R_2}{R_1}(1-\varepsilon) =$$

$$= \frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_2}{R_1}(1-\varepsilon)\left[\frac{R_2}{R_1+R_2} - 1\right] = \frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_2}{\cancel{R_1}}(1-\varepsilon)\frac{\cancel{R_2} - \cancel{R_1} - \cancel{R_2}}{R_1+R_2} =$$

$$= \frac{R_2}{R_1+R_2} - \frac{R_2}{R_1+R_2}(1-\varepsilon) = \frac{R_2}{R_1+R_2}\varepsilon \xrightarrow{\ \varepsilon \to 0\ } 0$$

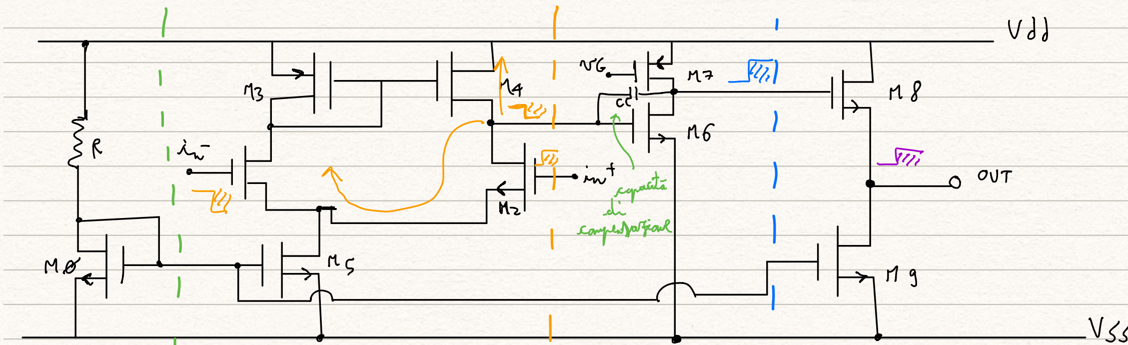
perfetto matching

$$G_{diff} = \left\{\frac{R_2}{R_1+R_2}\left[1 + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right] + \frac{R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\right\}\frac{1}{2} = \frac{R_2}{R_1}\left[1 - \frac{\varepsilon}{2}\frac{R_1+2R_2}{R_1+R_2}\right] \simeq \frac{R_2}{R_1}$$

$$CMRR = \left|\frac{G_{DIFF}}{G_{cm}}\right| = \frac{\cancel{R_2}/R_1\left[1 - \frac{\varepsilon}{2}\frac{R_1+2R_2}{R_1+R_2}\right]}{\frac{\cancel{R_2}}{R_1+R_2}\varepsilon} \simeq \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon \to 0 \Longrightarrow CMRR \to \infty$$

STRUTTURA INTERNA SEMPLIFICATA DI UN AMPLIFICATORE OPERAZIONALE:



BIAS

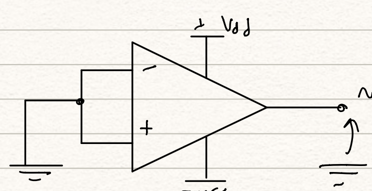
STADIO DIFFERENZIALE DI INGRESSO (M1 M2)
M3 M4 con carico a specchio e coda con gen. di corrente a specchio (M5 con M0)

STADIO DI GUADAGNO CON CARICO ATTIVO

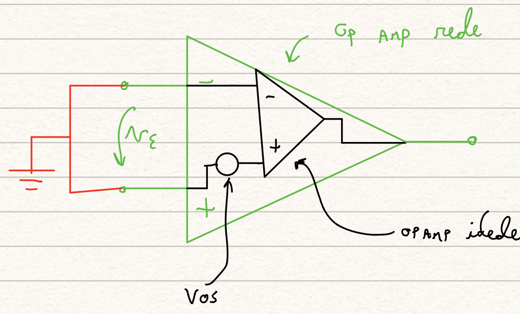
STADIO DI USCITA CON CARICO ATTIVO

L'AMPLIFICATORE OPERAZIONALE REALE

*TENSIONE DI OFFSET



$v_{OUT} \neq 0$ in un op. amp. reale



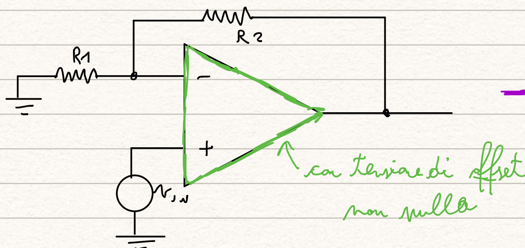
$$v_\varepsilon\big|_{reale} = V_\varepsilon \text{ ideale} \pm V_{OS}$$

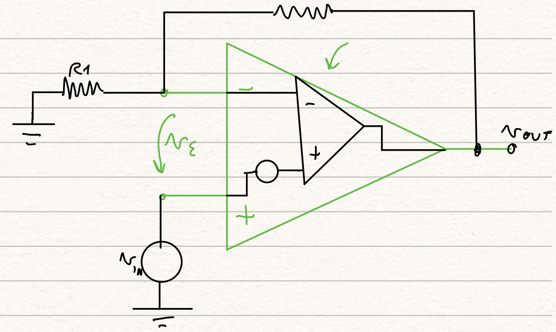
$$V_{OUT} = A_0 \left(V_\varepsilon \text{ ideale} \pm V_{OS}\right)$$

R2.

$V_{OS} \stackrel{typ}{=} 100\mu V \div 5mV$

V_{OS} è ~~una~~ grandezza DC



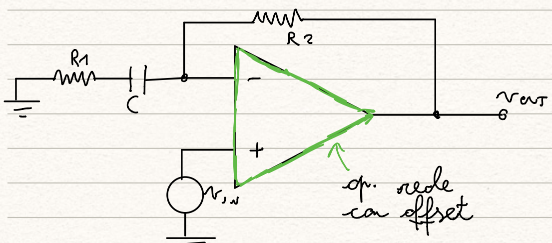


$v^+ = v_{IN} \pm V_{OS}$

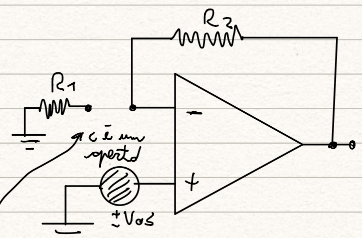
$v_{OUT} = \left(1+\frac{R2}{R1}\right)(v_{IN} \pm V_{OS})$

effetto della tensione di offset

$\Delta V_{OUT} = \left(1+\frac{R2}{R1}\right) V_{OS}$



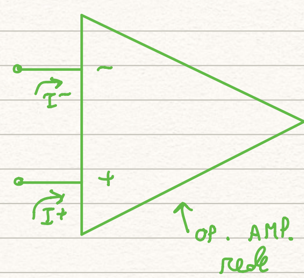
solo effetto offset



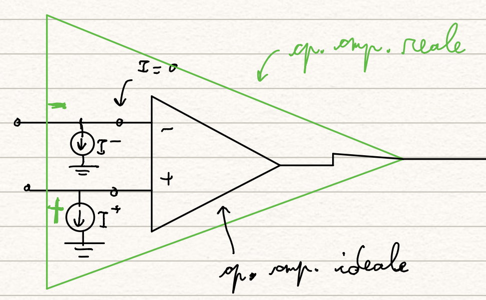
$V_{OUT}|_{V_{OS}} = \pm V_{OS}$

OFFSET È IN DC

LE CORRENTI DI BIAS



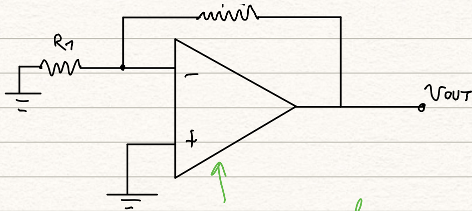
$\Longrightarrow$



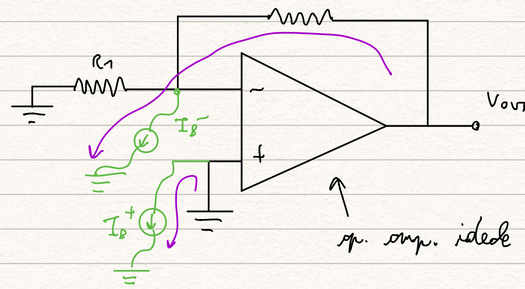
CORRENTI DI BIAS $\quad I_B = \frac{I^+ + I^-}{2}$ ← typ $1nA \div 10\mu A$

OFFSET DELLA CORRENTE DI BIAS $\quad I_{OS} = |I^+ - I^-|$ ← 2 ordini di grandezza più piccolo di I_B

R2



op. amp. reale con correnti di bias



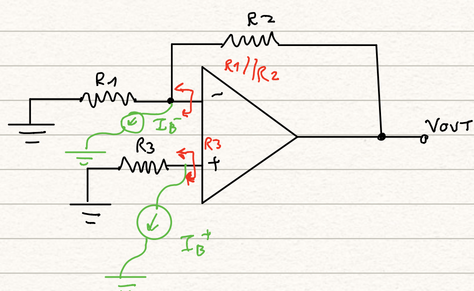
op. amp. ideale

I_B^+ non dà contributo

$I_B^- \longrightarrow V_{OUT} = I_B^- R_2 \simeq I_B R_2$

trascurando offset correnti di bias

COMPENSAZIONE DELLE CORRENTI DI BIAS



$\boxed{I_B^+}$ $\quad V^+ = -I_B^+ R_3$

$$V_{OUT}\Big|_{I_B^+} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V^+ =$$

$$= \left(1 + R_2/R_1\right)\left(-I_B^+ R_3\right)$$

$\boxed{I_B^-}$ $\quad V^+ = 0 \longrightarrow V^-$ terra virtuale

$$V_{OUT}\Big|_{I_B^-} = R_2 I_B^-$$

effetto correnti di bias:

$$V_{OUT} = V_{OUT}\Big|_{I_B^+} \quad V_{OUT}\Big|_{I_B^-} = -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_B^+ R_3 + R_2 I_B^-$$

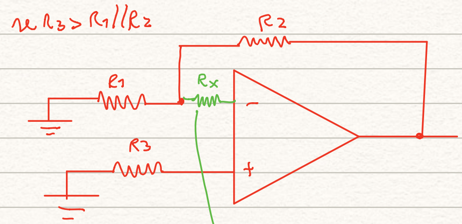
considero SOLO le correnti di bias e non il loro offset:

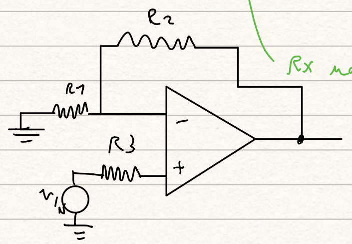
$$V_{OUT} = -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_B R_3 + R_2 I_B = I_B \left[R_2 - R_3\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right]$$

$$R_2 - R_3\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 0$$

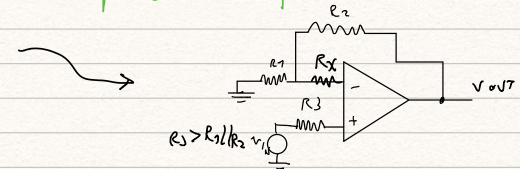
$$R_3\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) = R_2 \longrightarrow \boxed{R_3 = R_1 // R_2}$$

$V_{OUT}\Big|_{I_B} = 0$ $\quad$ ho compensato l'effetto delle correnti di bias non il loro offset

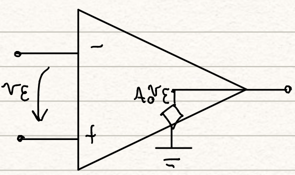




Rx non moltiplica il trasferimento dello stadio

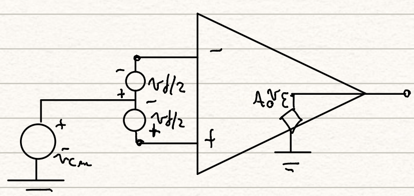


RAPPORTO DI REIEZIONE DEL MODO COMUNE FINITO



$$V_{OUT} = A_o v_\varepsilon$$

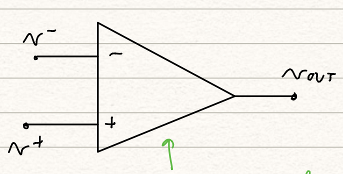
CASO REALE:



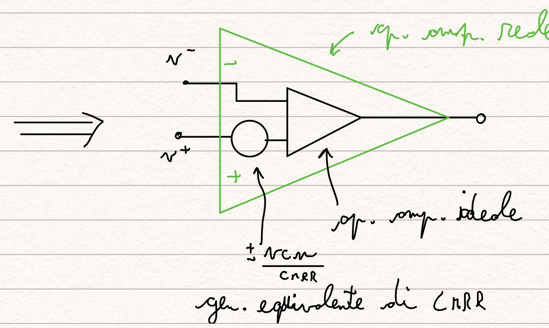
$$V_{OUT} = A_o\left(v^+ - v^-\right) + A_{cm}\left(\frac{v^+ + v^-}{2}\right) = A_o v_d + A_{cm} v_{cm}$$

$$V_{OUT} = A_o\left[v_d + \frac{A_{cm}}{A_o} v_{cm}\right] = A_o\left[v_d \pm \frac{v_{cm}}{CMRR_{typ}}\right]_{typ}$$

$$CMRR = \left|\frac{A_o}{A_{cm}}\right| \neq \infty \qquad 60\ dB \leq CMRR \leq 120\ dB$$



op. amp. reale
con CMRR ≠ ∞



1. non ne conosciamo la polarità
2. dipende dal segnale

$$v_{cm} = \frac{v^+ + v^-}{2}$$

CMRR finito

- config. invertente
- non invertente
- amp. differenziale