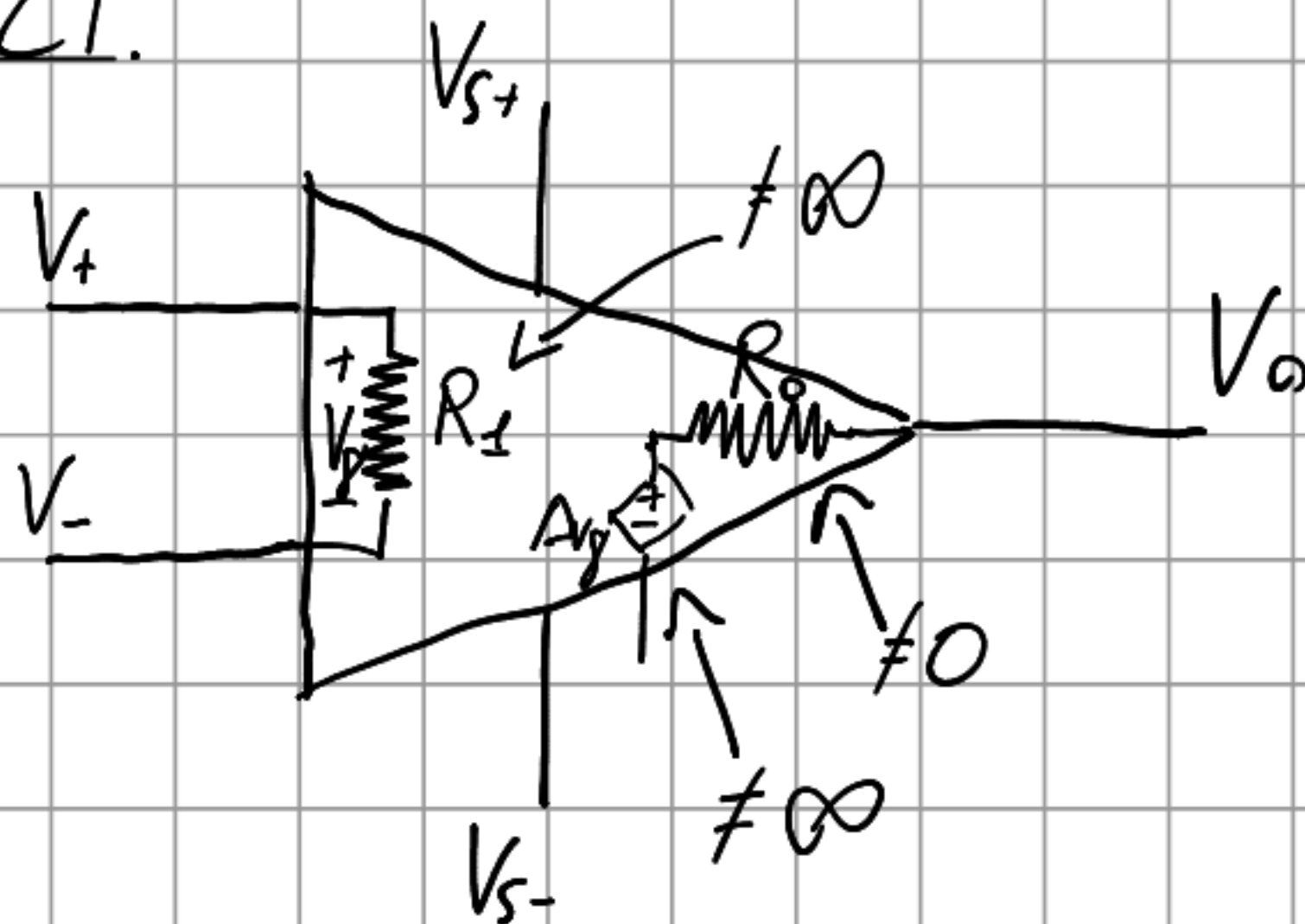


2.56 mm \rightarrow $\frac{1}{10}$ inch \rightarrow 100 micron

Lez 05 (17/10/2025)

OP AMP REALI.



i) Ha resistenza di ingresso finita: $R_1 < \infty$

ii) " " uscita non nulla

iii) Amp/ ϵ . finita

- Non idealità:

i) Abbattute dal feedback (calarne)

ii) Altre restano

iii) Altre sono volute \rightarrow Buffer \rightarrow autoosc.

\Rightarrow servono modifiche nell'integrato per risolvere i problemi.

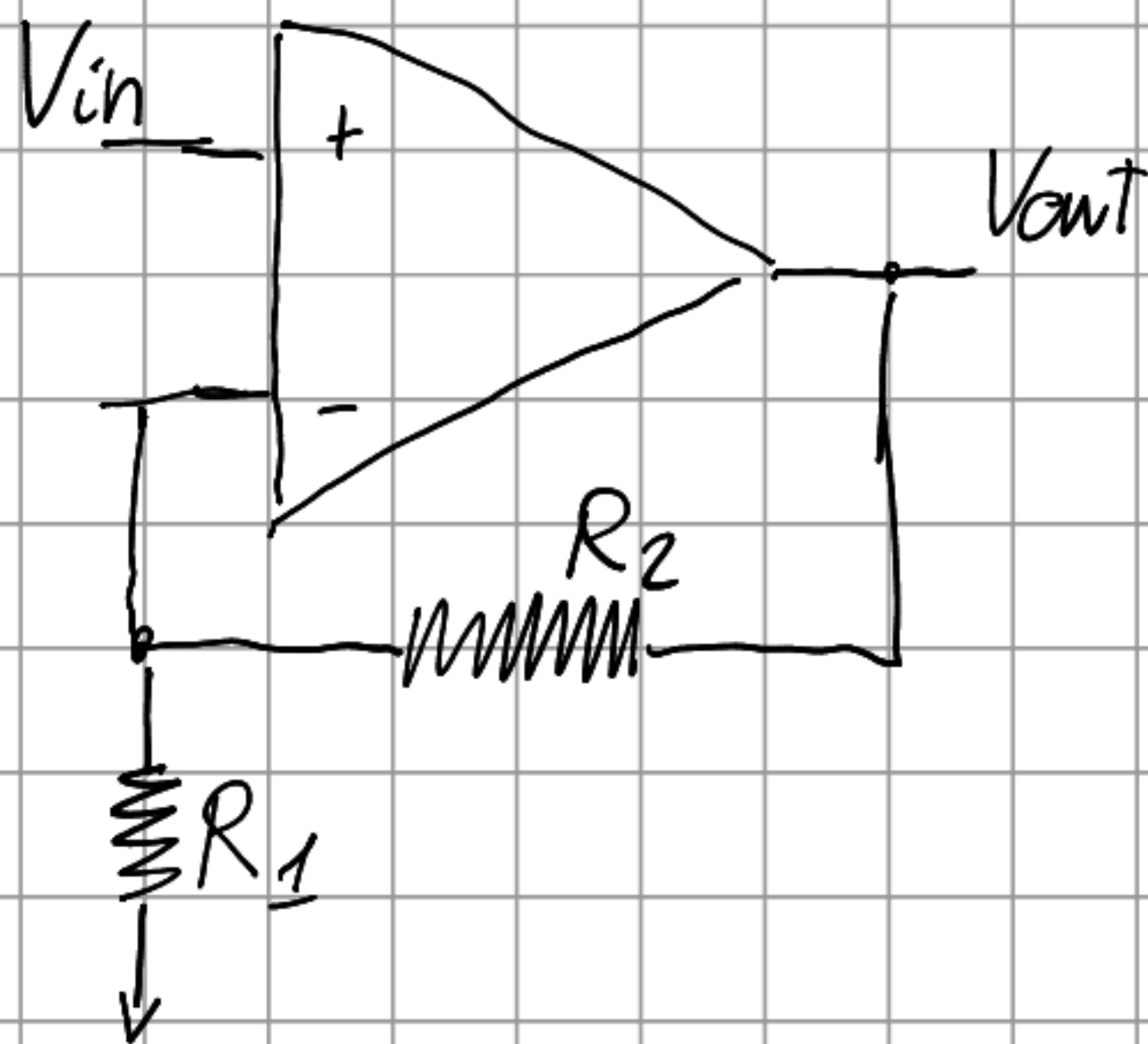
OpAmp \rightarrow tecnologia CMOS, con Trans. FET

- Non ideale, elenco:

1. Offset voltage \rightarrow circuito ingresso "non simmetrico" ?

feedback entra sempre su $-$:

\rightarrow sotto scambio degli ingressi



$$V_{out} = A(V_+ - V_- + V_{os})$$

$$V_{out} = G(V_{in} + V_{os})$$

\nwarrow
non ideali non risolta dal feedback

Offset \rightarrow transistor non uguali a + e - che mi sbilanciano gli ingressi da una parte e l'altra.

FET:

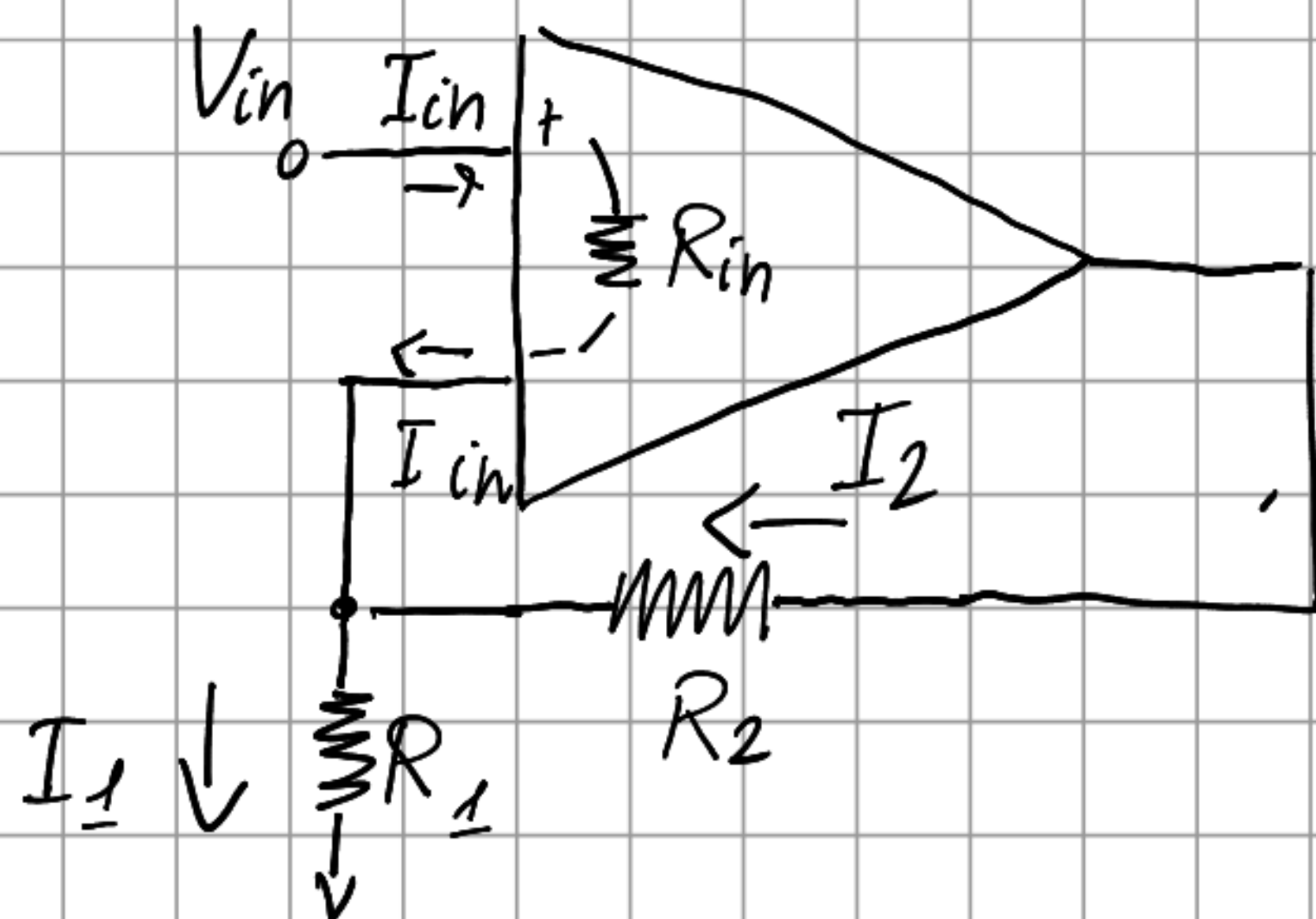


(MOS FET)

controllo carica
at will

elettrodi (capacitor-libbe)
uso per modulare conducibilità
del Si.

2. Res. ingresso (risultato al 1° ordine)



1° golden rule:

$$V_+ \neq V_-$$

$$V_+ = V_- + R_{in} I_{in}$$

$$\Rightarrow I_2 \neq I_1$$

- Provare a risolvere in forma chiusa.

- Stima al 1° ordine \rightarrow assumo tutto ideale (no offset, per $\Delta < \infty$) tranne R_{in}

$$V_{out} = G V_{in} \quad \uparrow \quad \frac{\Delta}{1 + \beta \Delta}$$

Chiamo $\Delta V \equiv V_+ - V_-$

Parto da $\Delta = \infty$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{\Delta} \quad \text{se } \Delta < \infty \text{ ho } \Delta V \neq 0$$

$$I_{in} = \frac{\Delta V}{R_{in}} = \frac{V_{out}}{\Delta R_{in}} = \frac{G V_{in}}{\Delta R_{in}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{R_{in} \Delta}{G} = (1 + \beta \Delta) R_{in} \sim \underbrace{\beta \Delta}_{\text{guadagno di omb}} R_{in}$$

se $\Delta \gg 1$ pendono $R_{in} < \infty$

\hookrightarrow guadagno di omb

- Esercizio: ($A \equiv$ open loop gain)

$$\frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} \left[1 + \beta \left(A + \frac{R_2}{R_{in}} \right) \right]$$

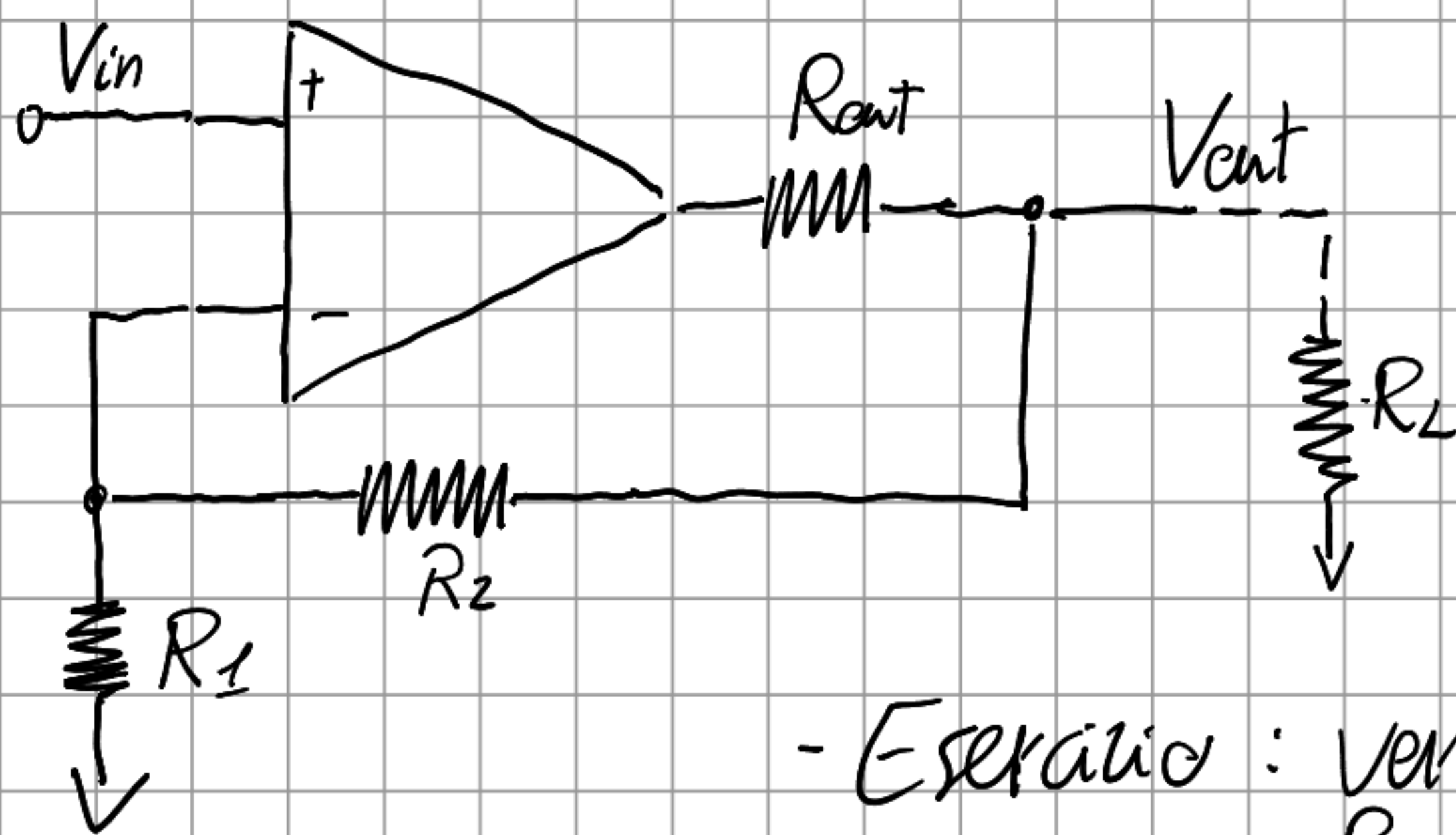
risoluzione senza regole d'oro

verificare con
 $A \rightarrow +\infty$

- Questa non idealità soppressa da feedback ed amplificazione.

3. Res. di uscita:

se aggiungo carico



feedback che
risolve cose

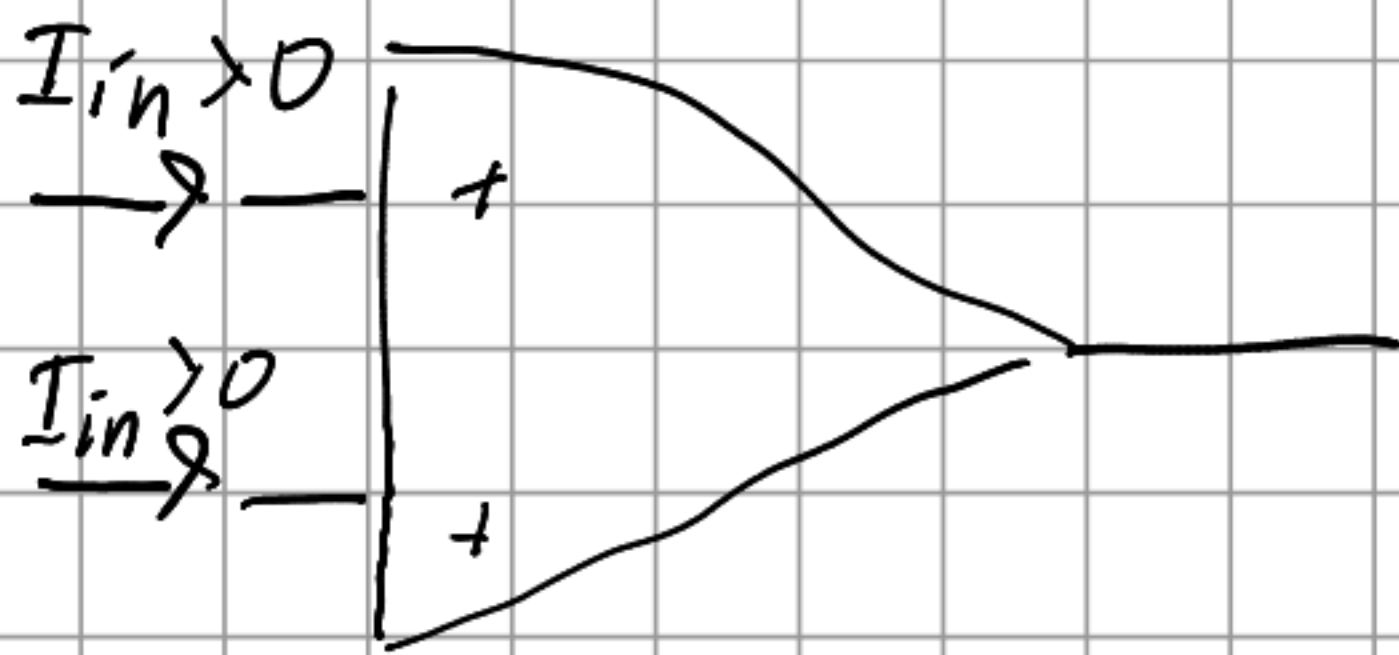
- Esercizio: verificare che per $A \rightarrow +\infty$ R_{out} non cambia il comportamento dell'amplificatore.

! \rightarrow - In pratica: limite concreto è corrente max $\sim 10mA$

Se $I > 10mA$ OpAmp non funziona:

- no Golden Rule } funzionanti
- no feedback

4. Corrente di bias : OpAmp assorbono o forniscono corrente.



Alimentazione su rails

Gli OpAmp non amplificano in genere rail-to-rail

Vedi imm. con OpAmp a 6 transistor Bare-Bone

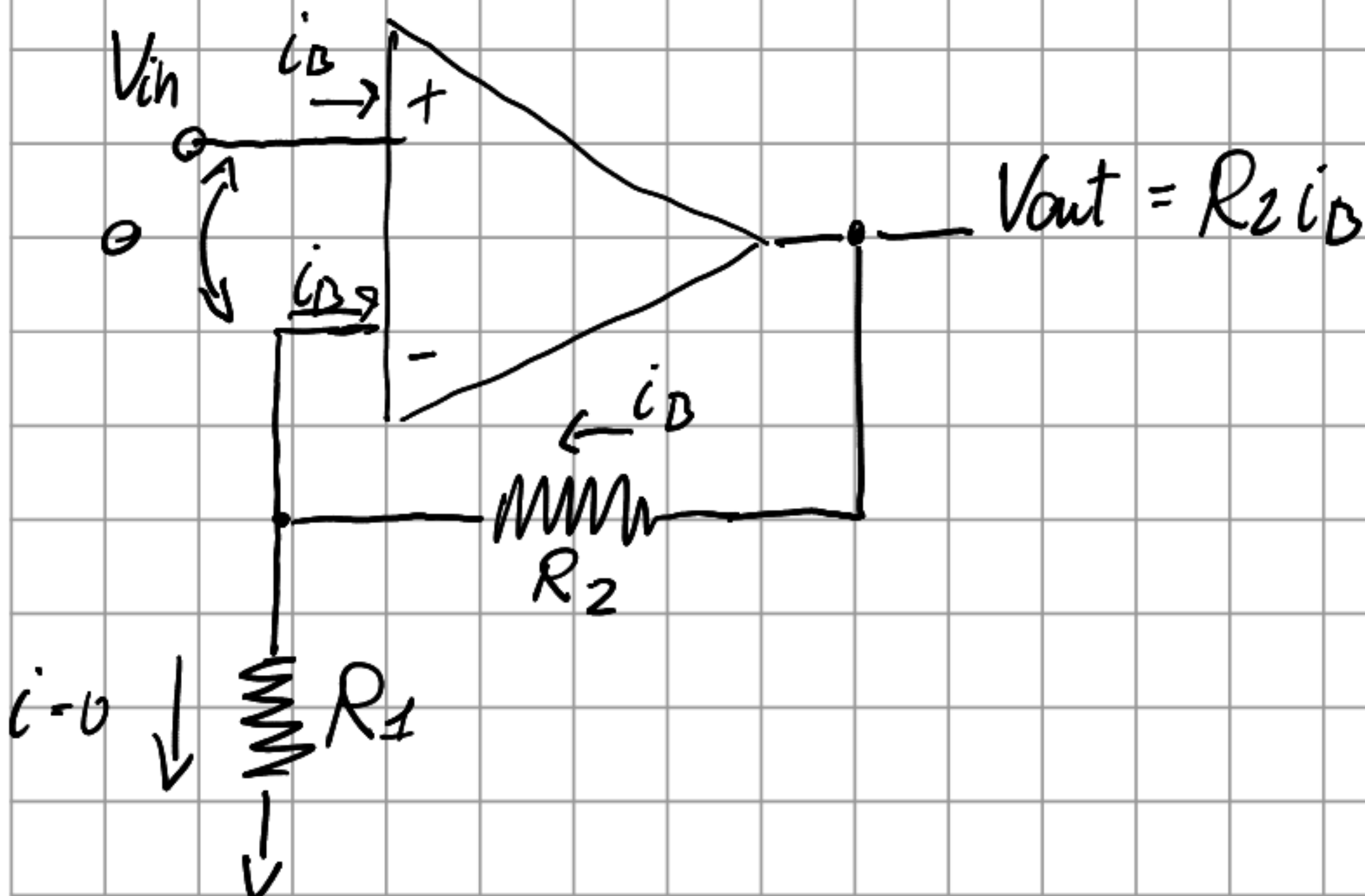
2 tr. in ingresso \rightarrow coppia differenziale

risponde bene a differenze, ma non a variaz. sincrona.

W. anche spetto di corrente.

OpAmp a Fet \rightarrow basso I_{in} perché sono FET \sim conduttori

- Corrente di bias \leadsto offset.



Anche con $V_{in} = 0$ ho $V_{out} = 0$

\Rightarrow di fatto ottengo offset.

$$V_{out} = R_2 i_B \neq 0$$

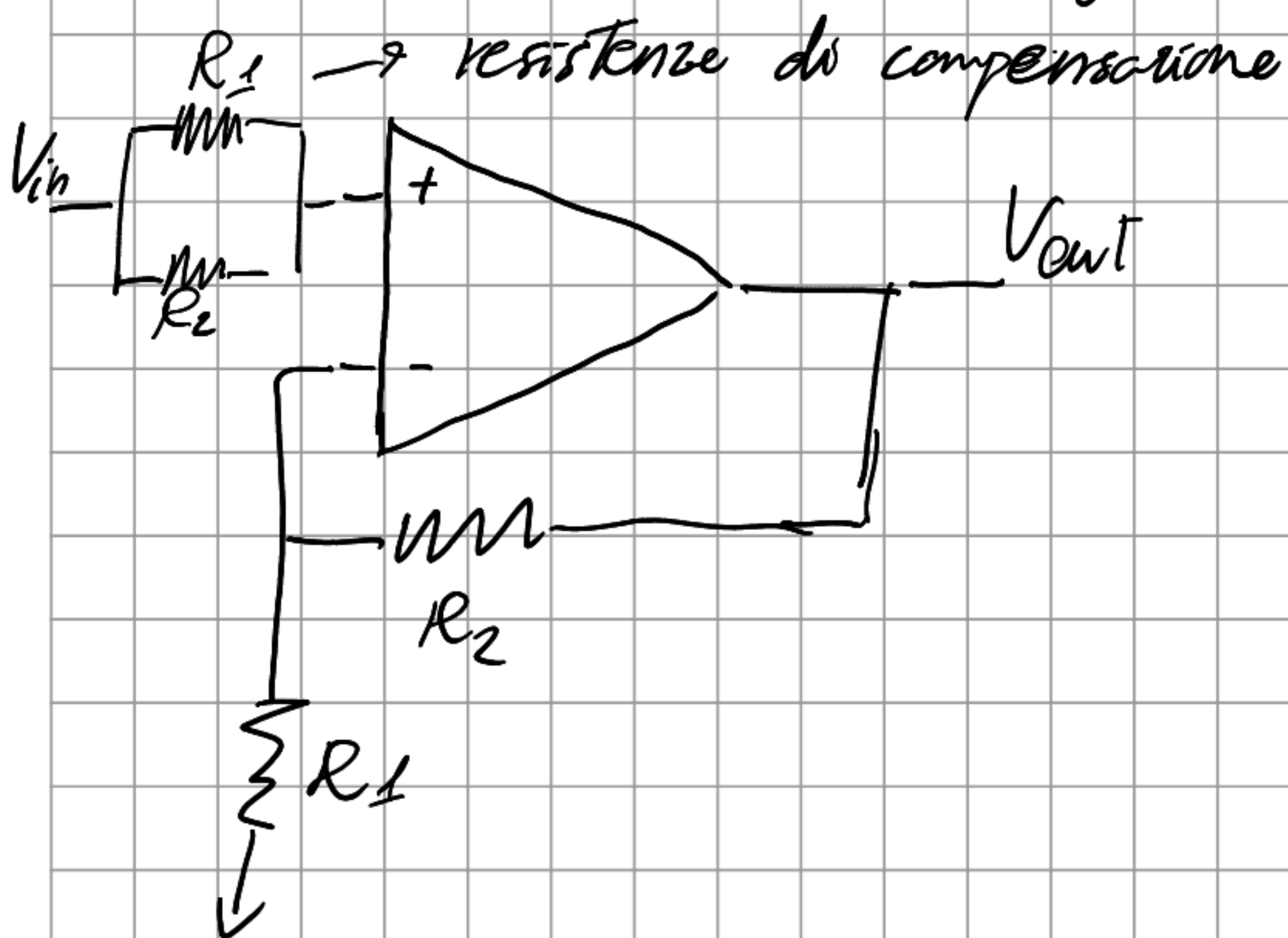
$$= \frac{G}{G} R_2 i_B$$

$$= G \frac{R_1}{R_1 + R_2} R_2 i_B$$

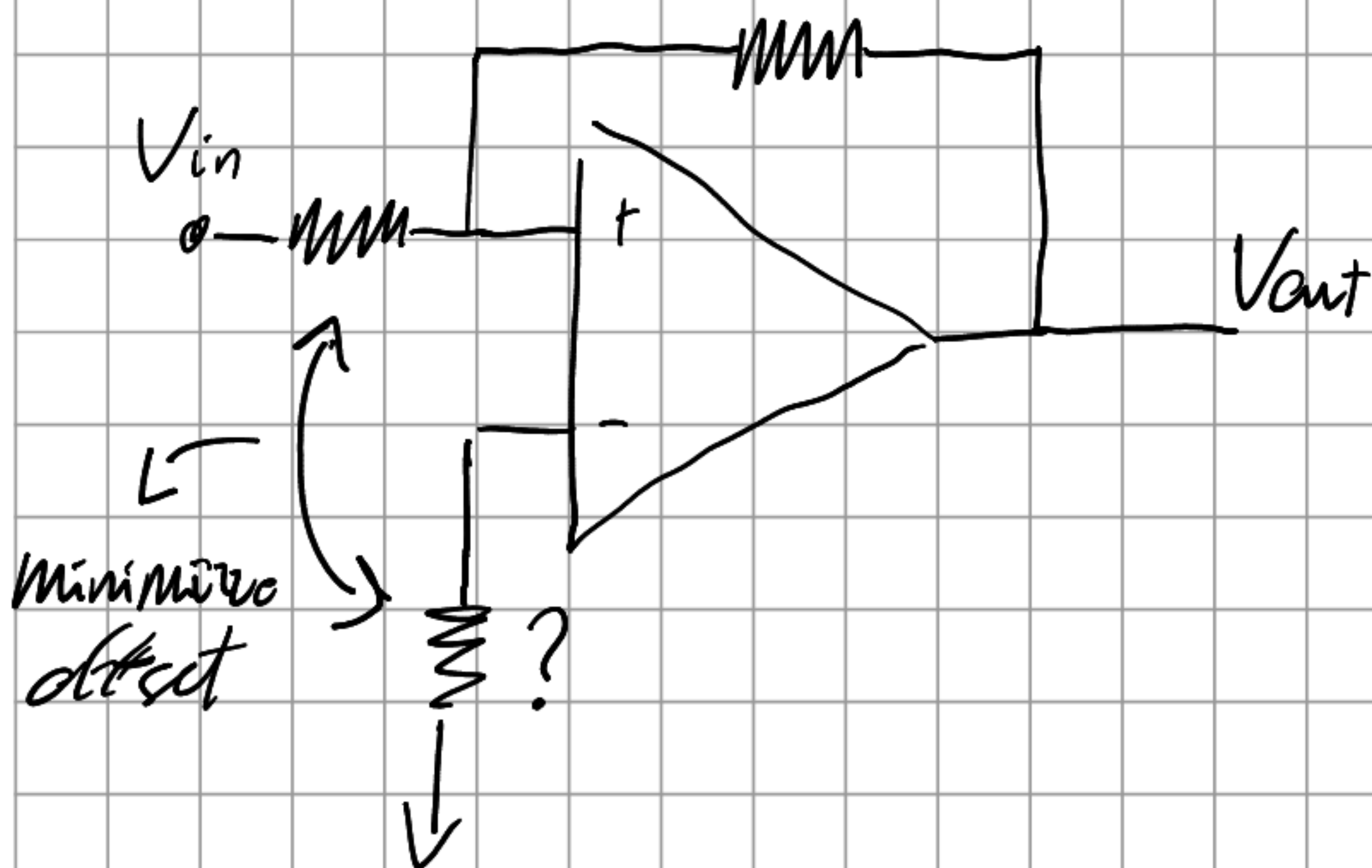
$$= G \underbrace{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}_{V_{offset} \equiv \text{parallelo tra } R_2 \text{ ed } R_1} i_B$$

$V_{offset} \equiv$ parallelo tra R_2 ed R_1

- Risolvo con seguente config.



- Capita anche in OpAmp invertente.



5. Il modello efficace (altri effetti e riassunto)

u. immagine (modello non accurato, nel senso non realistico)

- Non è detto che variando V_+ e V_- della stessa quantità, non cambi la corrente

- In common mode \rightarrow ha piccola ampl.

\rightarrow OpAmp non perfettamente differenziali

- $A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega\tau_0}$ \rightarrow composizione in frequenza

\rightarrow OpAmp hanno ci fare int. config. a passo basso

\rightarrow OpAmp tante capacità parassite.

$\omega \uparrow \rightarrow$ uscite sfasate.

\Rightarrow rischio crollare l'empl. ad alte freq.

- In generale avrò $\Delta(\omega)$ e $\beta(\omega)$, perciò:

$$G(\omega) = \frac{A(\omega)}{1 + \beta(\omega)A(\omega)} \quad (*)$$

Se ho sfasamento dovuto ad $\Delta(\omega)$ di 180° posso arrivare a feedback positivo.

• MARGINI DI FASE E DI GUADAGNO.

Obiettivo: fare in modo che (con $\beta \in \mathbb{R}$ e $\beta < 1$, feedback con partitore) OpAmp non autosculi.

2 possibili condizioni.

1. $\Delta(\omega) = |\Delta(\omega)| e^{i\varphi(\omega)}$

Voglio arrivare a $\varphi(\omega) = \pi$ quando $|\Delta| < 1$

(quando è impossibile mantenere a 0 il den in $(*)$)

Def. GAIN MARGIN $\frac{1}{|\Delta(\omega)|}$

2. Voglio arrivare a $|\Delta| = 1$ quando φ non è ancora π

Def. PHASE MARGIN $\pi - \varphi(\omega_c)$

- I 2 numeri definiti ci dicono quanto siamo lontani dai guai.