

Fondamenti di Elettronica

10

Amplificatori operazionali Non idealità



Enrico Zanoni

enrico.zanoni@unipd.it

- ❑ Effetti che agiscono in DC
 - tensione di offset di ingresso
 - correnti di polarizzazione e di offset in ingresso
 - effetto della tensione di offset e della corrente di offset sull'integratore invertente

Tensione di offset di un opamp reale

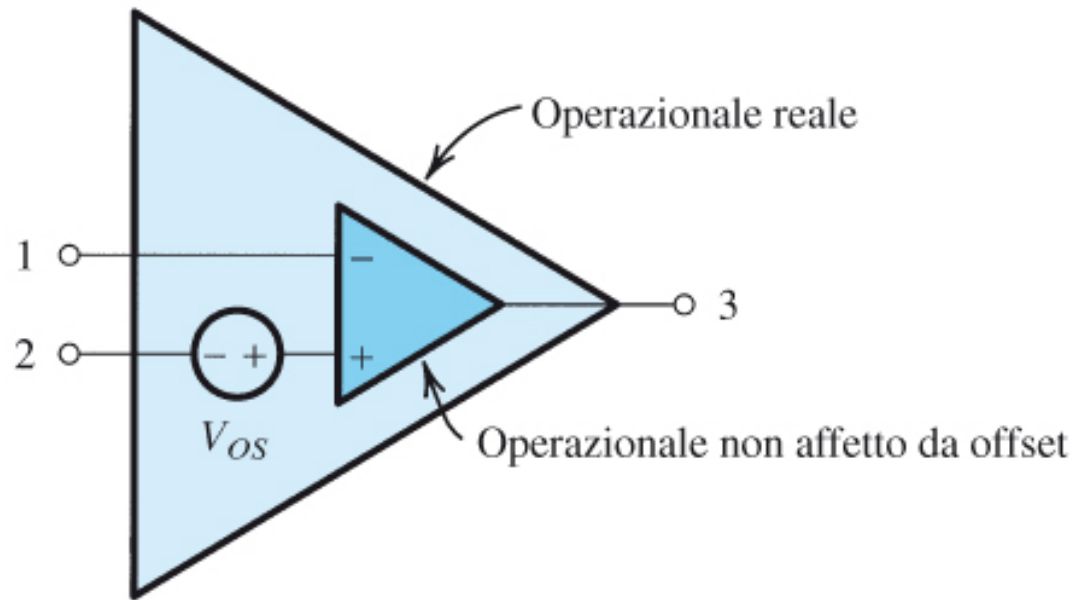


Figura 2.28 Modello circuitale per un amplificatore operazionale con *offset* di tensione in ingresso pari a V_{OS} .

In un amplificatore operazionale reale, anche se si connettono v_- e v_+ assieme e li si pone entrambi a 0 V, la tensione di uscita è diversa da zero a causa della tensione «di offset» dovuta alla non idealità del circuito interno dell'amplificatore operazionale: asimmetrie del circuito differenziale, differenze locali di temperatura, ecc.

La tensione di offset (1-5 mV) dipende dalla temperatura ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)

Caratteristica di trasferimento con offset

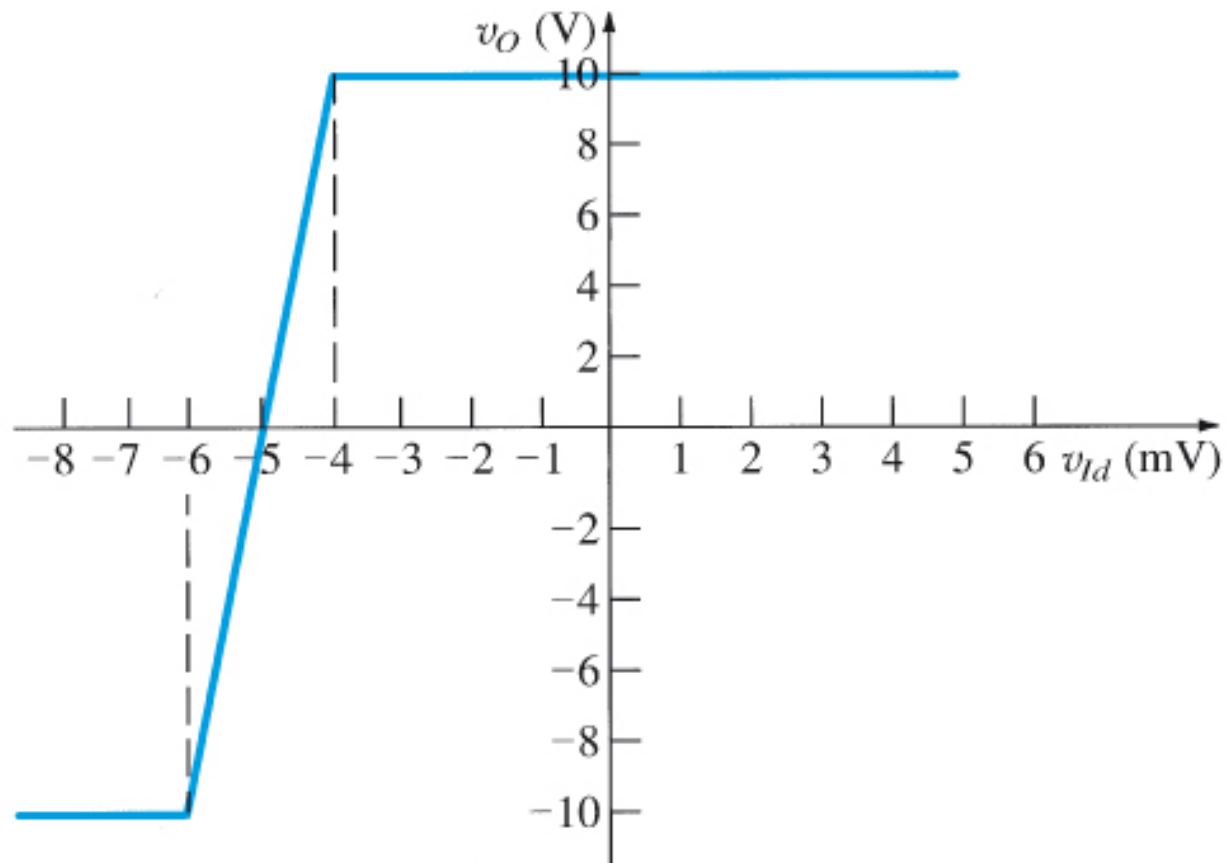
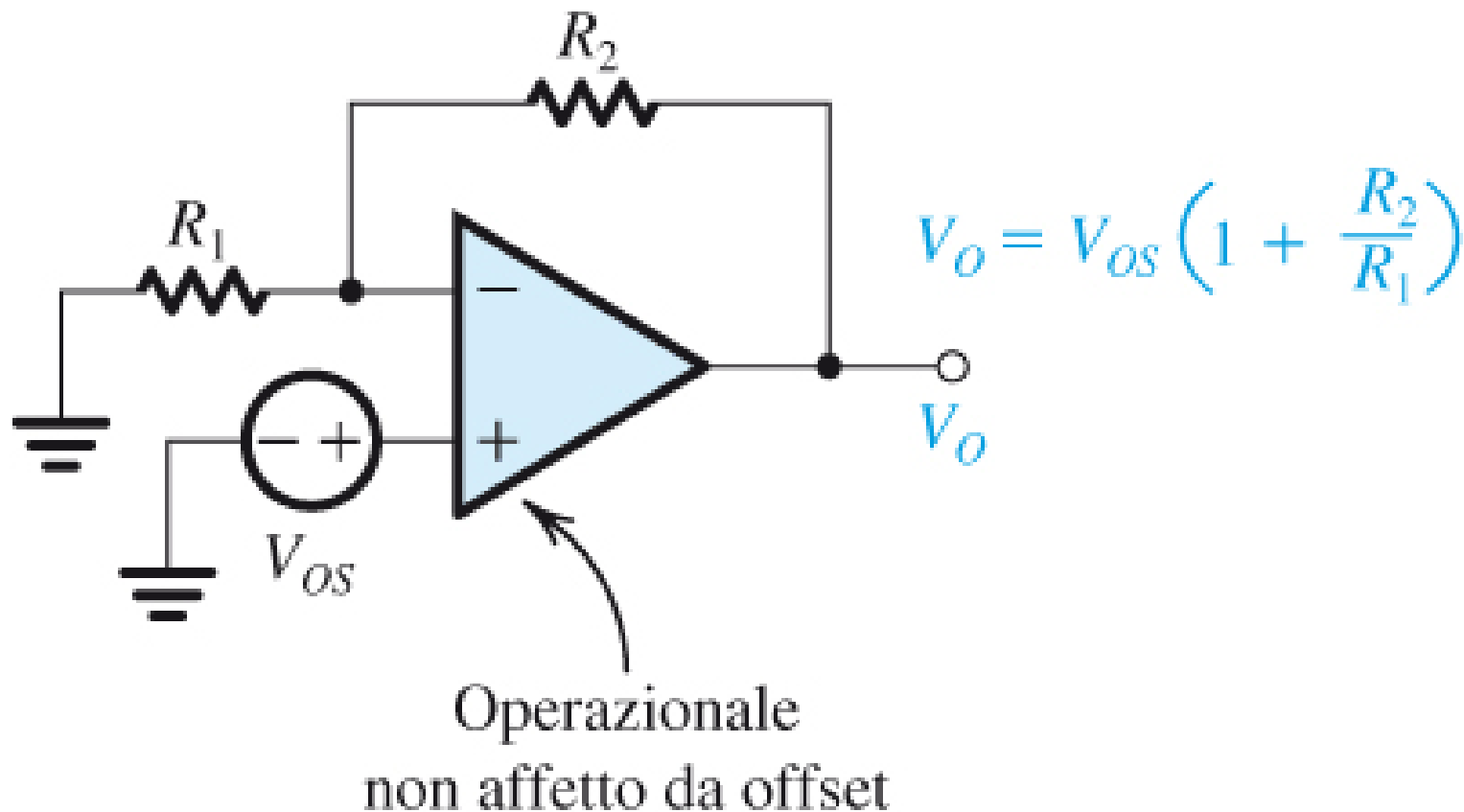


Figura E2.21 Caratteristica di trasferimento di un op amp con $V_{OS} = 5$ mV.

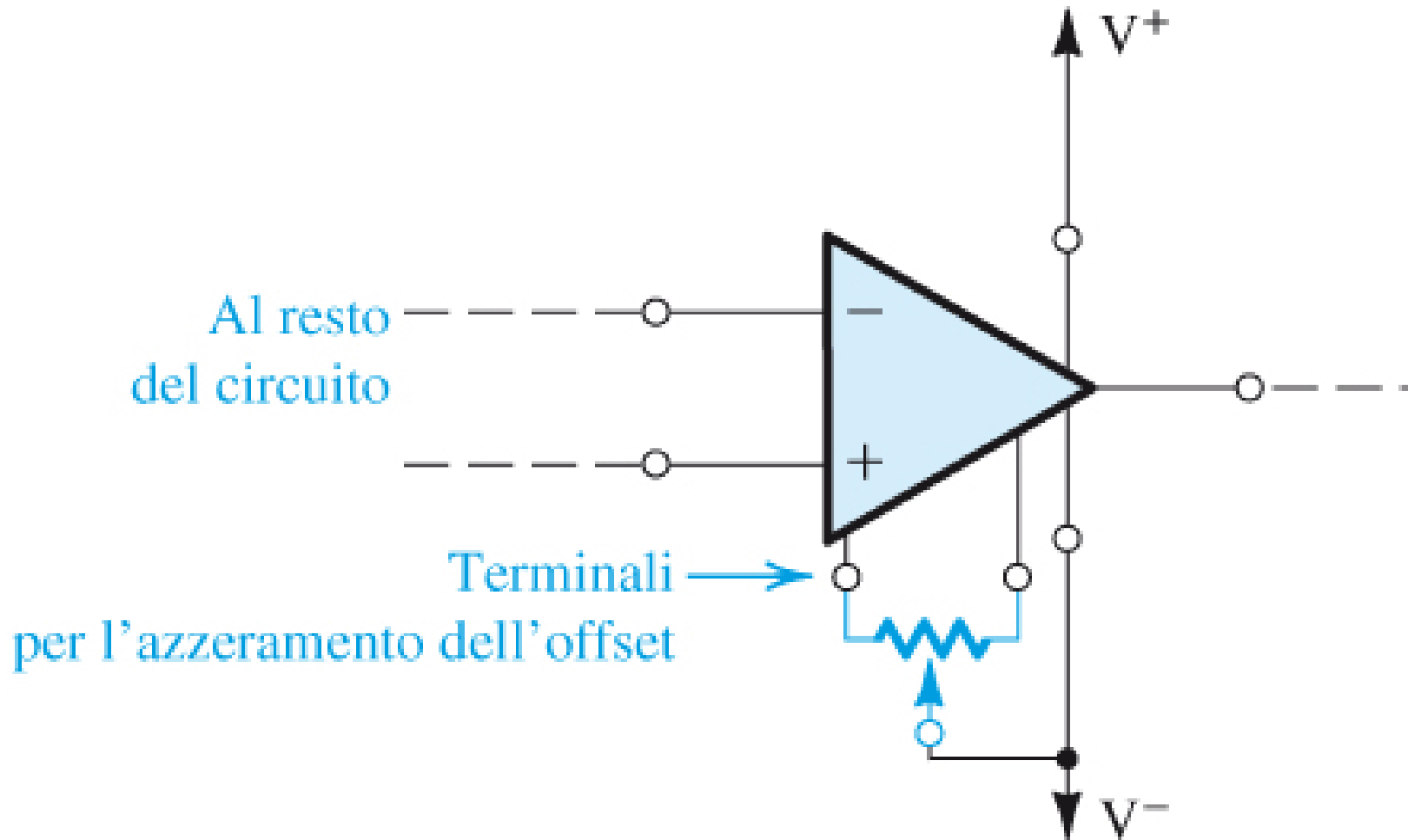
La tensione di offset può essere così grande da causare la saturazione dell'amplificatore anche in assenza di segnale

Amplificazione della tensione di offset in DC



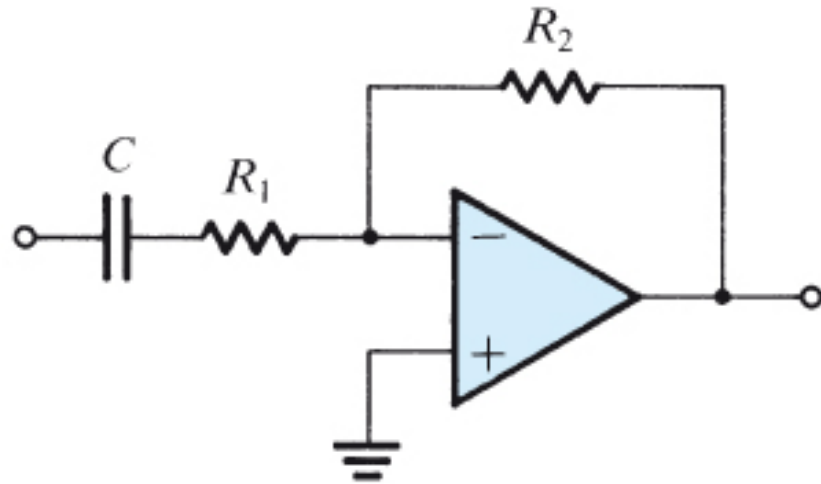
La tensione di offset all'ingresso viene amplificata all'uscita; si sovrappone alla componente continua del segnale in uscita e limita la massima escursione del segnale AC in ingresso

Compensazione della tensione di offset



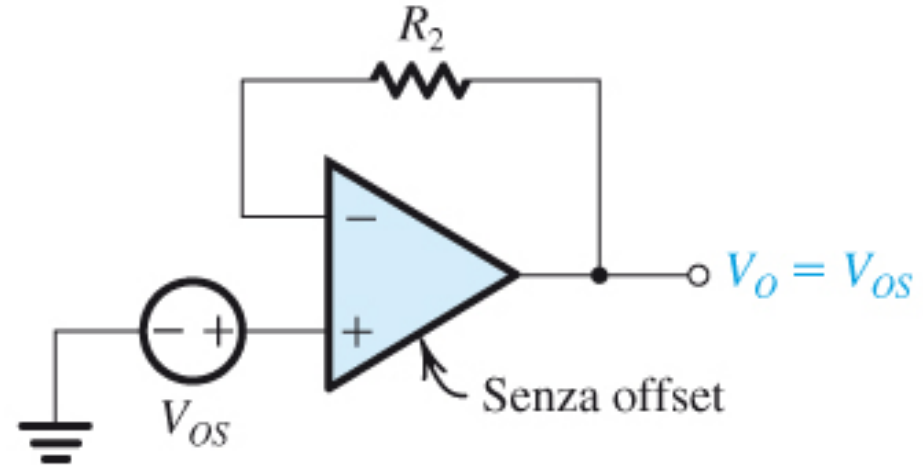
Molti amplificatori operazionali hanno terminali appositi per «cancellare» = compensare la tensione di offset. Rimane il problema della dipendenza di V_{OS} dalla temperatura

Filtraggio della tensione di offset



(a)

l'amplificazione del segnale DC di offset è pari a UNO.



(b)

Se si inserisce un filtro passa alto in ingresso, la tensione di offset (che è una tensione DC) non viene più amplificata. La si ritrova ancora all'uscita, ma invariata rispetto al valore che presenta all'ingresso.

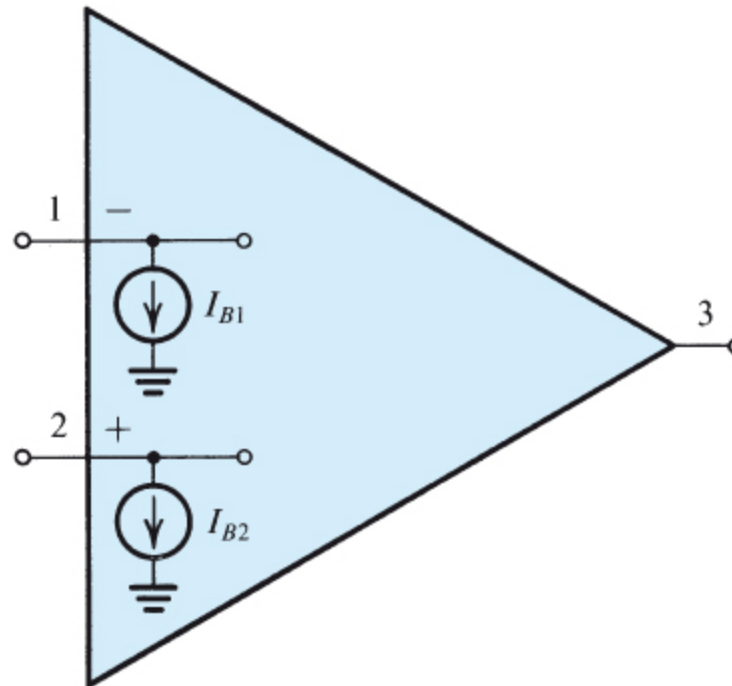
Questo però limita l'utilizzazione del circuito alle basse frequenze.

Correnti di bias

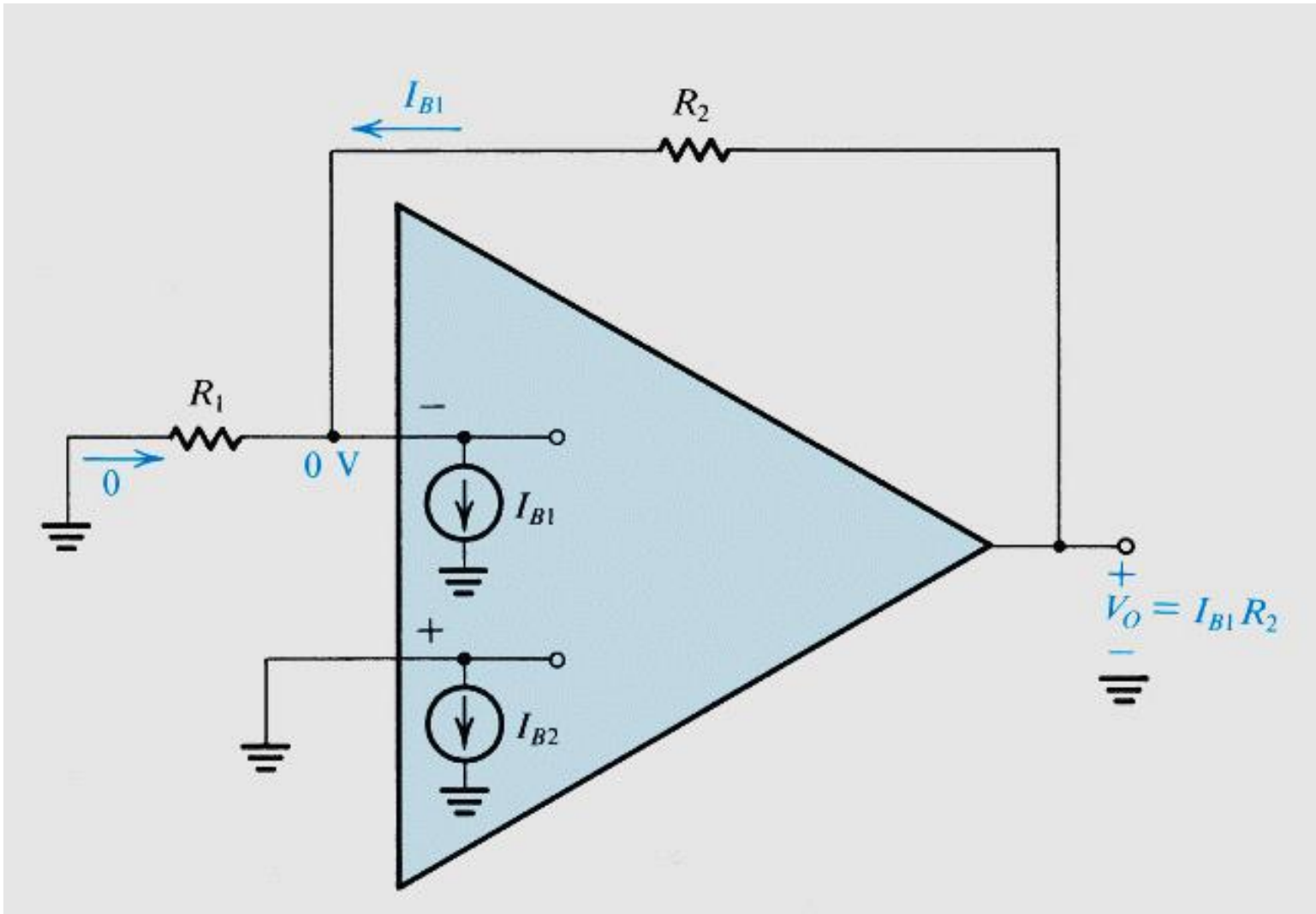
Correnti di bias e di offset: la corrente di ingresso dell'operazionale reale non è nulla

Sono correnti DC; possono essere diverse tra loro: offset in corrente

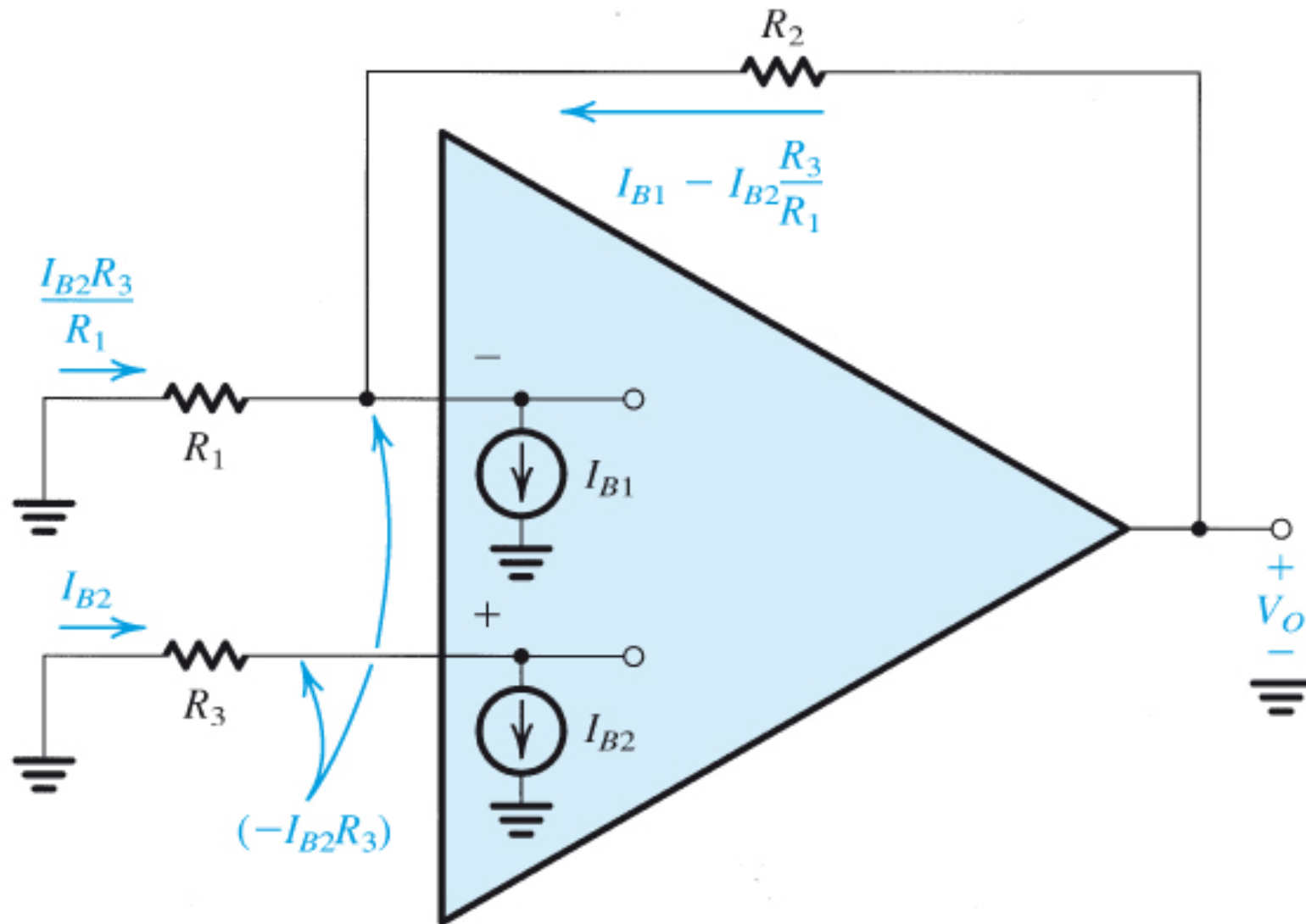
$$I_{OS} = I_{B1} - I_{B2}$$



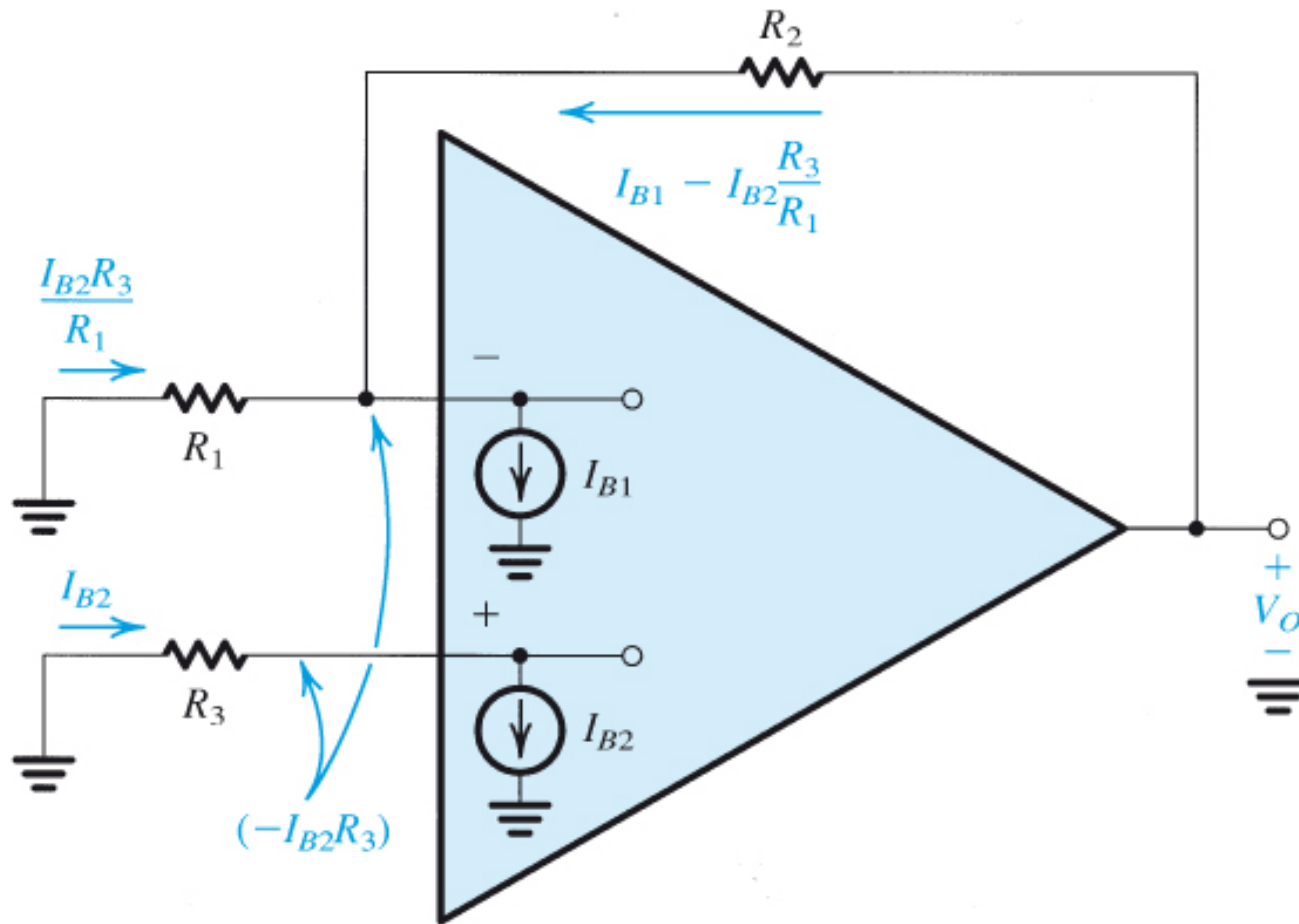
Tensione di uscita dovuta alle correnti di bias



Ecco come le correnti di bias si riflettono sulla tensione di uscita in una configurazione invertente



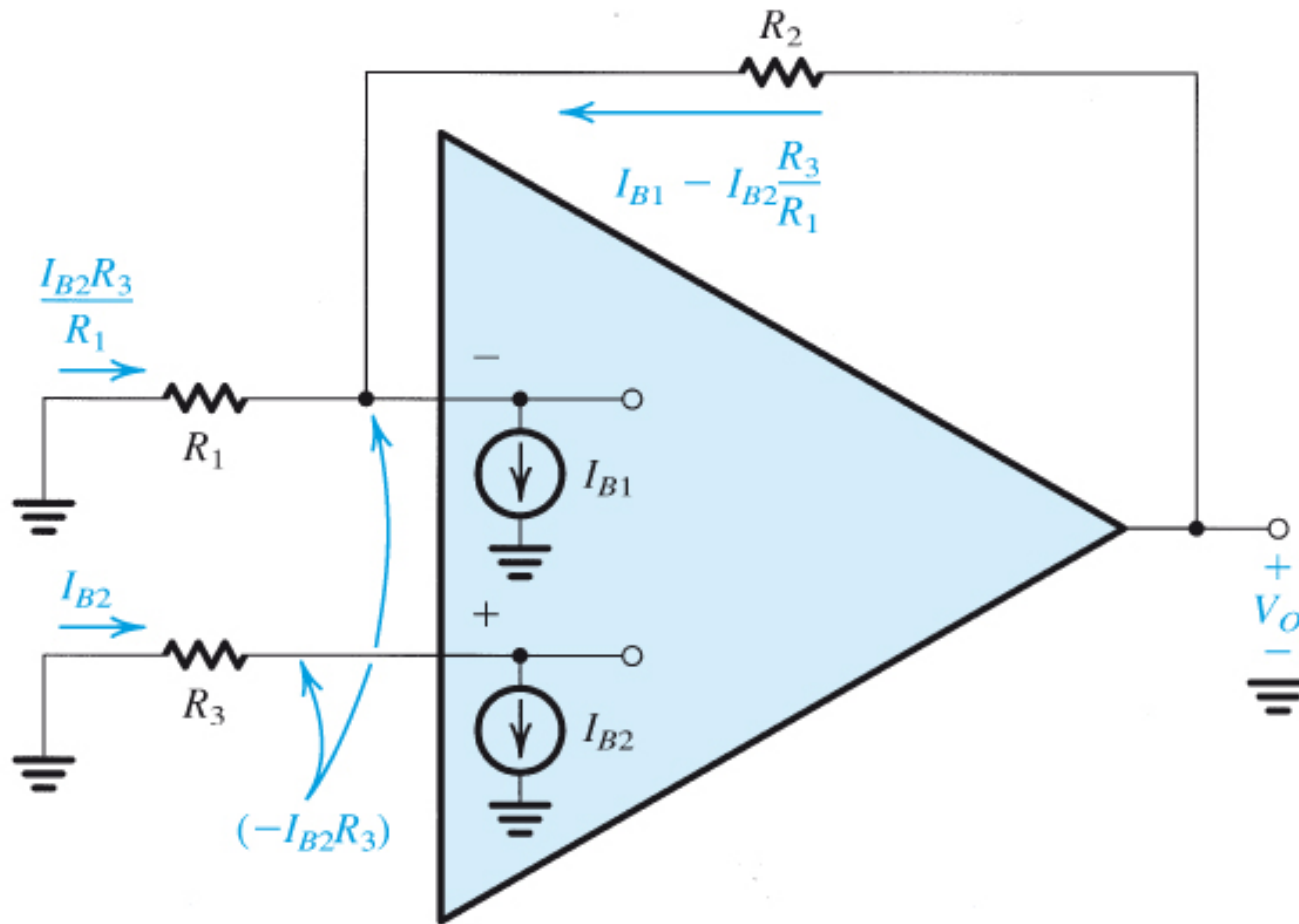
Inserendo R_3 , l'effetto sulla amplificazione ideale è nullo, ma la tensione dovuta alle correnti di bias cambia : $V_O = -I_{B2}R_3 + R_2(I_{B1} - I_{B2}(R_3/R_1))$



$V_0 = -I_{B2}R_3 + R_2(I_{B1} - I_{B2}(R_3/R_1));$ hp. $I_{B1}=I_{B2}=I_B$, impongo $V_0 = 0$:

$$V_0 = -I_B R_3 + R_2 I_B (1 - R_3/R_1) = I_B (R_2 - R_3(1 + R_2/R_1))$$

quindi basta porre $R_3 = R_2 / (1 + R_2/R_1) = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ cioè $R_3 = R_1 // R_2$



$$V_0 = -I_{B2}R_3 + R_2(I_{B1} - I_{B2}(R_3/R_1));$$

hp. I_{B1} è diverso da I_{B2} , ovvero $I_{B1} - I_{B2} = I_{OS}$; poniamo $I_{B1} = I_B + I_{OS}/2$ e $I_{B2} = I_B - I_{OS}/2 \rightarrow V_0 = -((I_B - I_{OS}/2)R_3 + R_2(I_B + I_{OS}/2) - (I_B - I_{OS}/2)R_2((R_3/R_1))$;

ora se poniamo $R_3 = R_1R_2/(R_1+R_2)$ allora $V_0 = I_{OS}R_2$ (piccolo)

dimostrazione

$$V_0 = -I_{B2}R_3 + R_2(I_{B1} - I_{B2}(R_3/R_1));$$

se I_{B1} è diverso da I_{B2} , ovvero $I_{B1} - I_{B2} = I_{OS}$ poniamo $I_{B1} = I_B + I_{OS}/2$ e
 $I_{B2} = I_B - I_{OS}/2 \rightarrow$

$$V_0 = -((I_B - I_{OS}/2)R_3 + R_2(I_B + I_{OS}/2) - (I_B - I_{OS}/2)R_2((R_3/R_1)));$$

ora se poniamo $R_3 = R_1R_2/(R_1+R_2)$

diventa

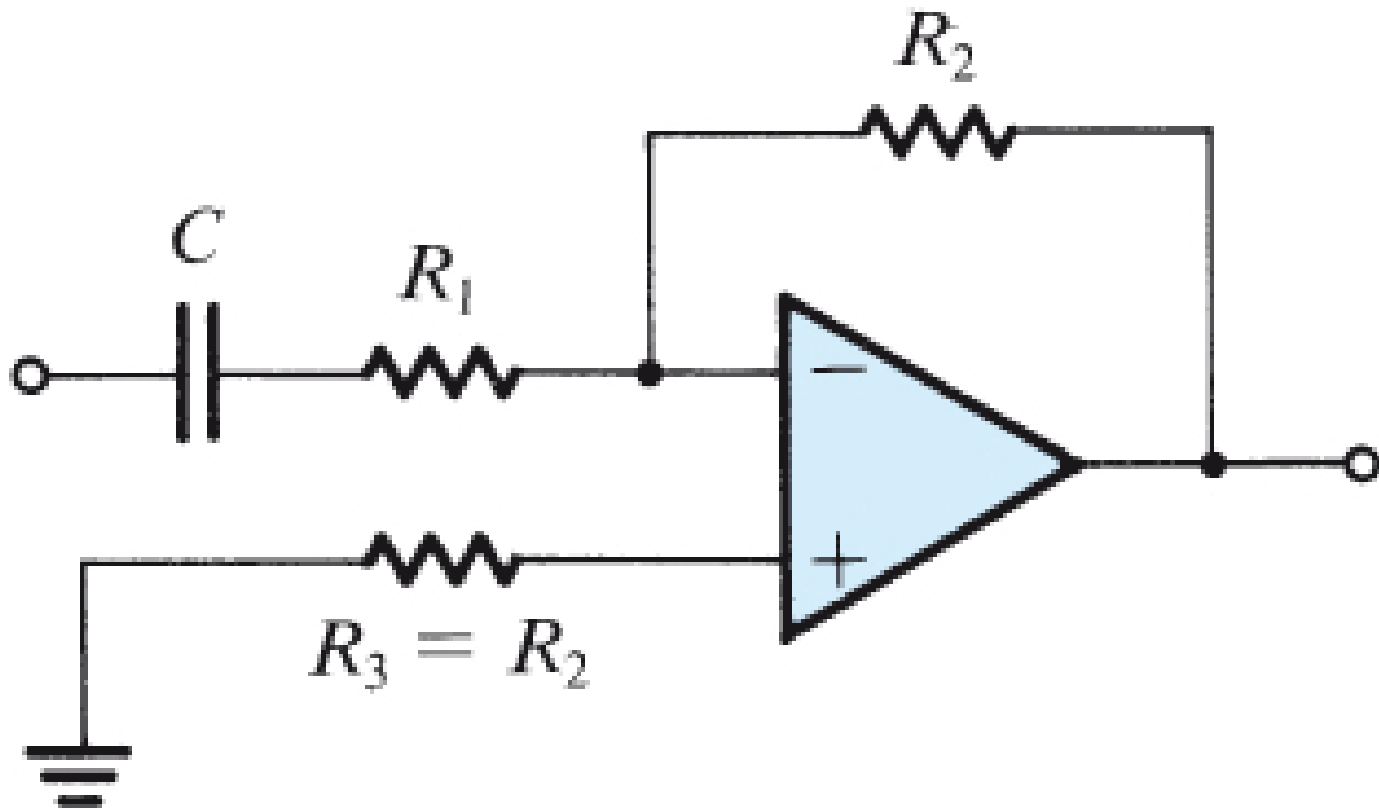
$$V_0 = -I_B R_3 - (I_{OS}/2)R_3 + R_2 I_B + R_2(I_{OS}/2) - I_B(R_2 R_3)/R_1 + (I_{OS}/2)(R_2 R_3)/R_1;$$

$$V_0 = -I_B R_1 R_2 / (R_1 + R_2) + ((I_{OS}/2) R_1 R_2) / (R_1 + R_2) + \\ + R_2 I_B + R_2(I_{OS}/2) - I_B(R_2^2)/(R_1 + R_2) + (I_{OS}/2)(R_2^2)/(R_1 + R_2);$$

$$V_0 = I_B(-R_1 R_2 + R_2^2 + R_1 R_2 - R_2^2)/(R_1 + R_2) + \\ ((I_{OS}/2)(R_1 R_2 + R_2^2 + R_1 R_2 + R_2^2)/(R_1 + R_2) +$$

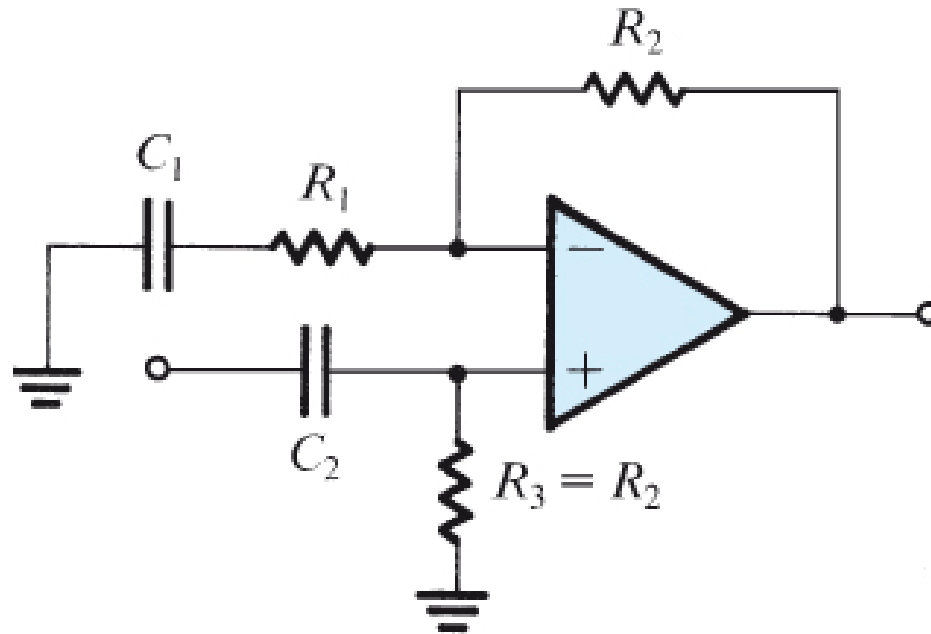
$$V_0 = 0 + (I_{OS}/2)(2R_2(R_1 + R_2)/(R_1 + R_2) = I_{OS}R_2$$

$$\text{allora } V_0 = I_{OS}R_2$$



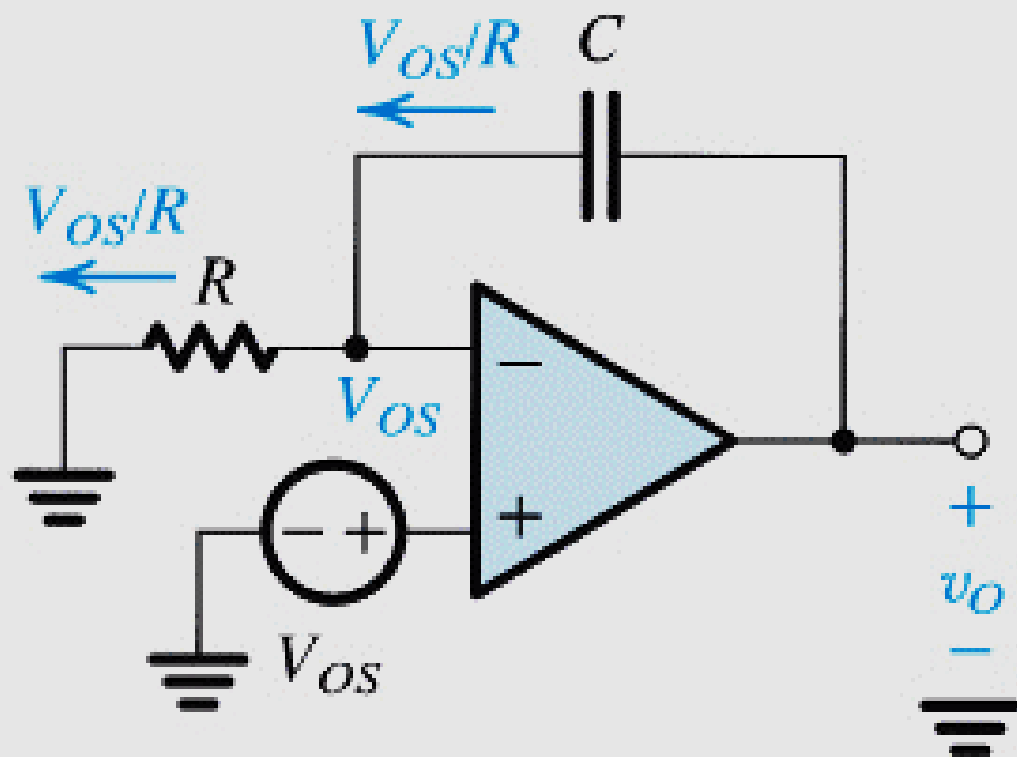
In un amplificatore accoppiato in AC la resistenza DC vista dal terminale invertente è R_2 ; quindi R_3 deve essere scelto uguale ad R_2

Disaccoppiamento da offset DC amplificatore non invertente



Deve esserci sempre un cammino DC dall'ingresso dell'operazionale a massa, attraverso il generatore di ingresso o l'uscita dell'operazionale. Se non c'è, l'amplificatore non funziona. Nel caso in figura, la resistenza R_3 da v_+ verso massa è essenziale per il funzionamento del circuito

Tensione di offset e circuito integratore

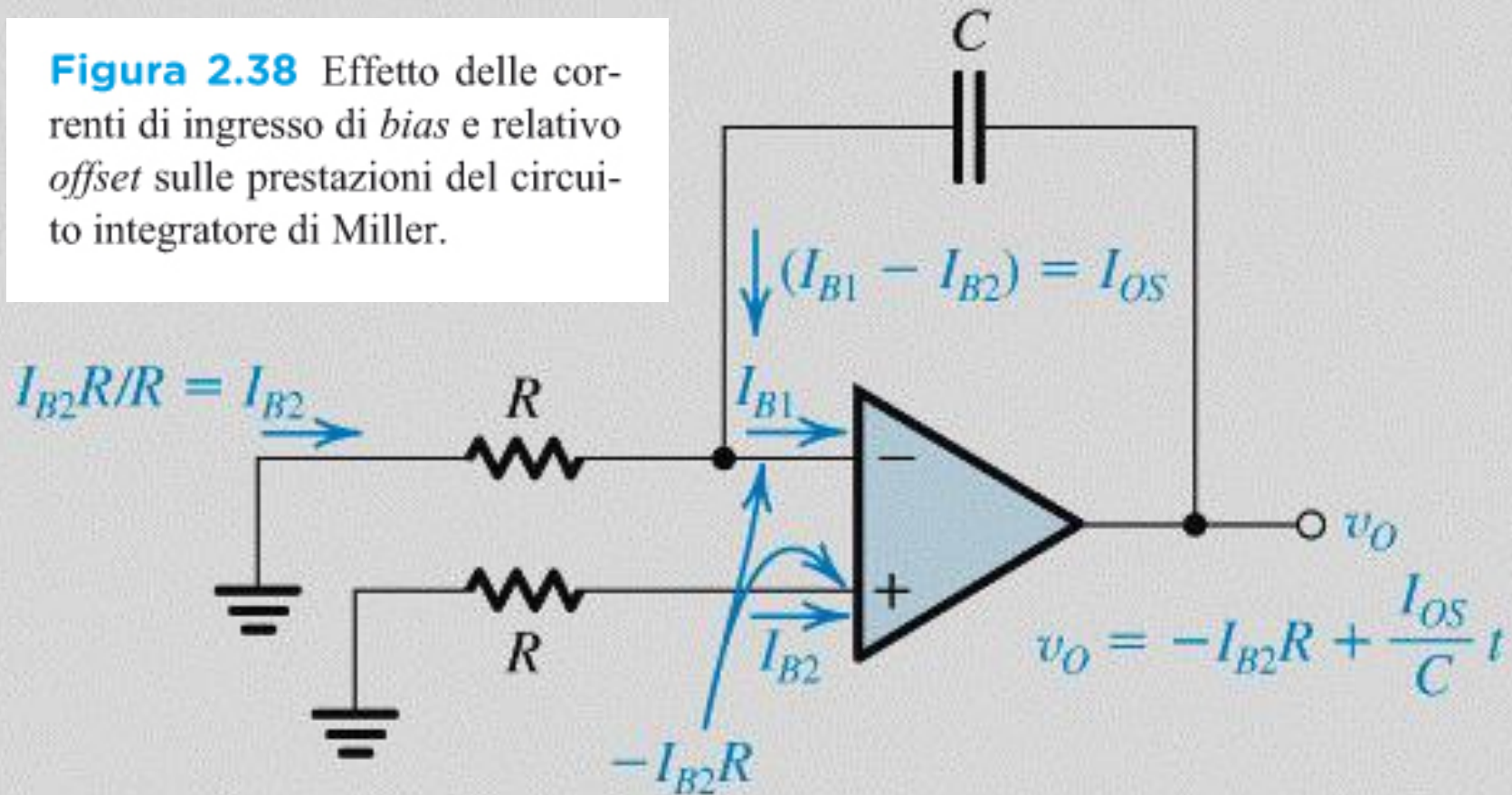


$$v_O = V_{OS} + \frac{1}{C} \int_0^t \frac{V_{OS}}{R} dt$$
$$= V_{OS} + \frac{V_{OS}}{CR} t$$

Figura 2.37 Determinazione dell'effetto dell'*offset* di tensione in ingresso V_{OS} sul circuito integratore di Miller. Si noti che dal momento che l'uscita cresce nel tempo, l'amplificatore operazionale prima o poi satura.

Effetto delle correnti di bias sul circuito integratore

Figura 2.38 Effetto delle correnti di ingresso di *bias* e relativo *offset* sulle prestazioni del circuito integratore di Miller.



saturazione della tensione di uscita

slew-rate : massima variazione istantanea della tensione di uscita

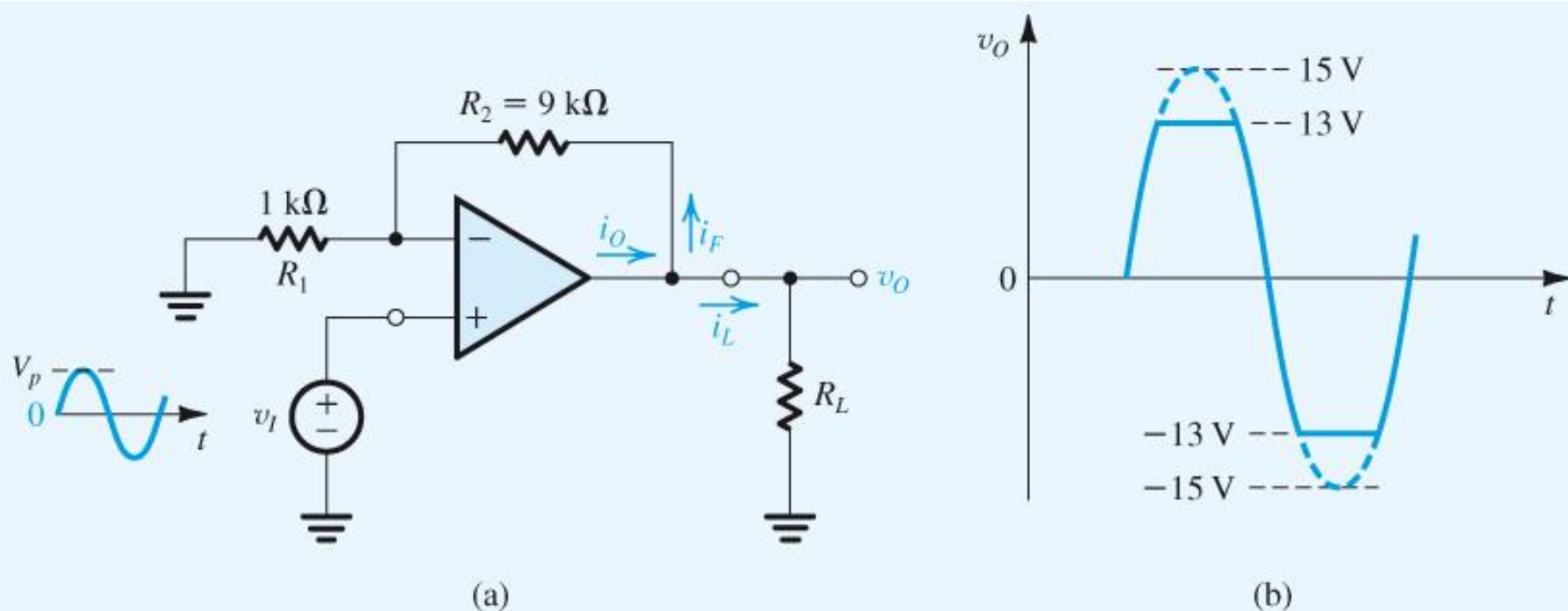
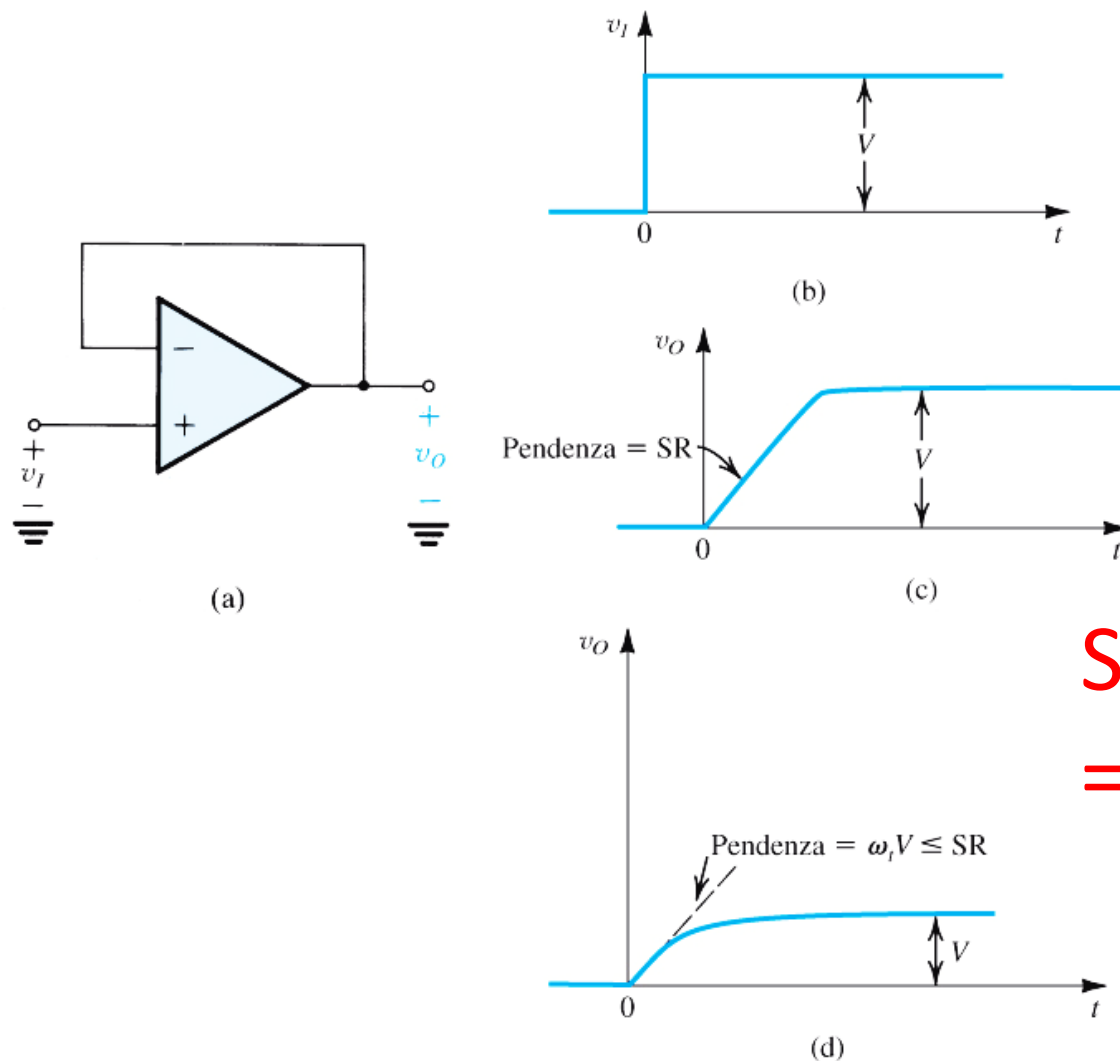


Figura 2.42 (a) Un amplificatore non invertente con guadagno nominale pari a 10 V/V progettato utilizzando un amplificatore operazionale che satura per tensioni di uscita pari a $\pm 13\text{ V}$ e presenta un limite per la corrente di uscita di $\pm 20\text{ mA}$. (b) Quando la sinusoide di ingresso presenta un picco di 1.5 V , la tensione di uscita viene cimata a $\pm 13\text{ V}$.

Slew rate



$$\text{SLEW RATE} = SR$$
$$= \max dv_o(t)/dt$$

Figura 2.43 (a) Inseguitore a guadagno unitario. (b) Ingresso a gradino. (c) Uscita crescente linearmente che si ottiene quando l'amplificatore operazionale è limitato dallo *slew rate*. (d) Uscita crescente esponenzialmente che si ottiene quando V è sufficientemente piccolo in modo che la pendenza iniziale ($\omega_t V$) sia minore o uguale a SR .

Effetto dello slew rate su una tensione di uscita sinusoidale

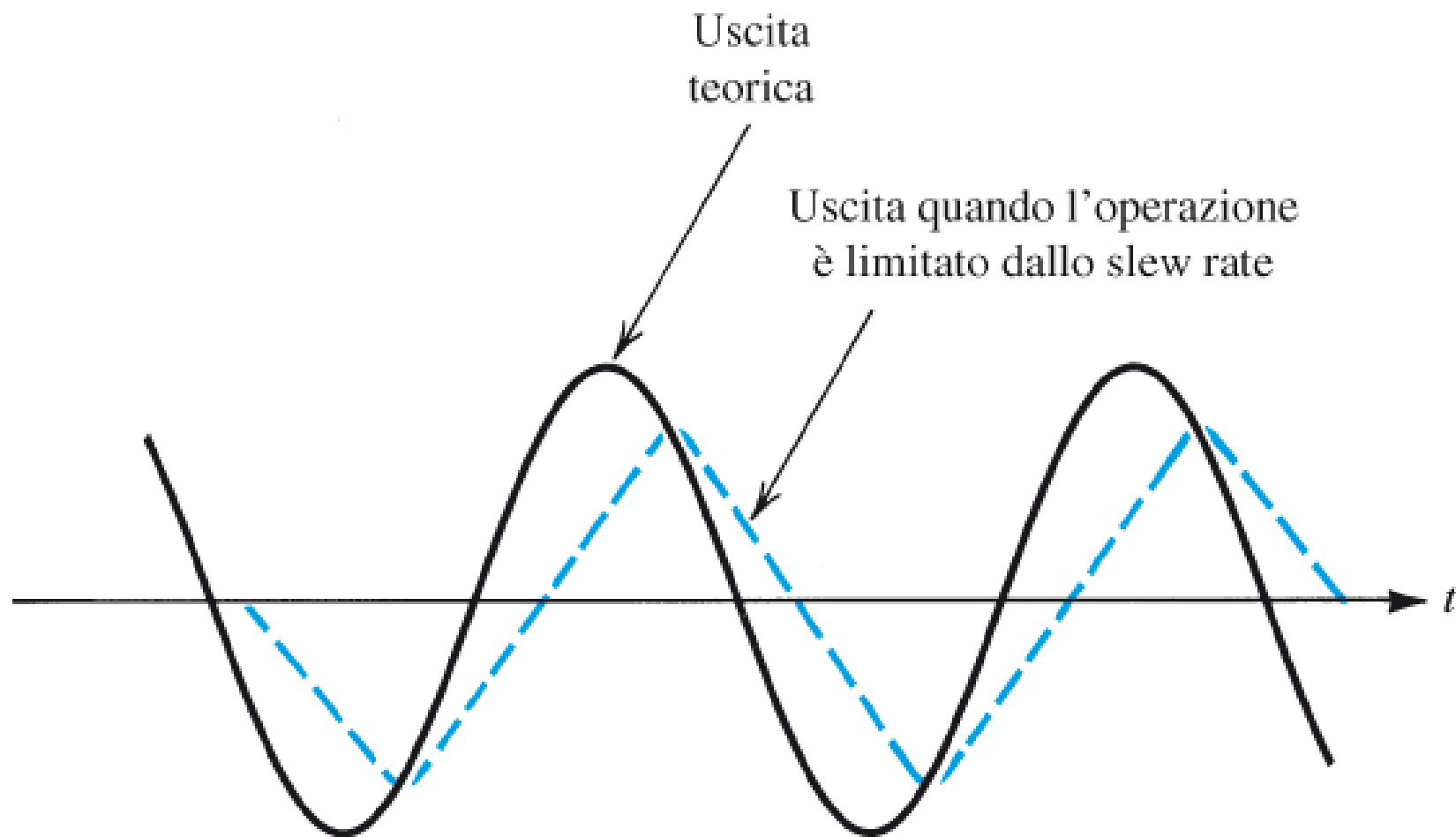


Figura 2.44 Effetto dello *slew rate* su una forma d'onda d'uscita sinusoidale.