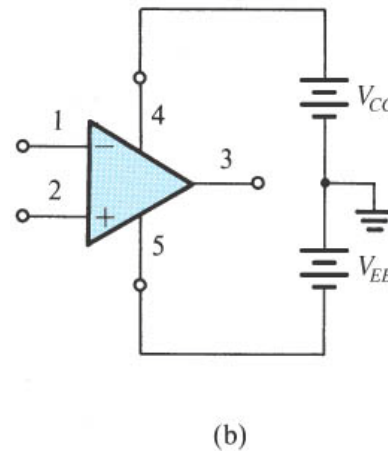
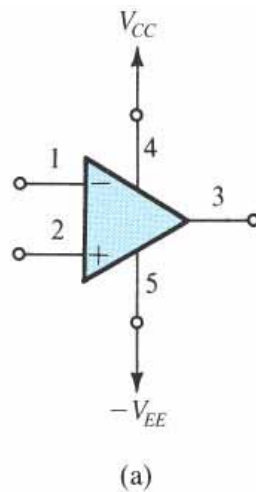
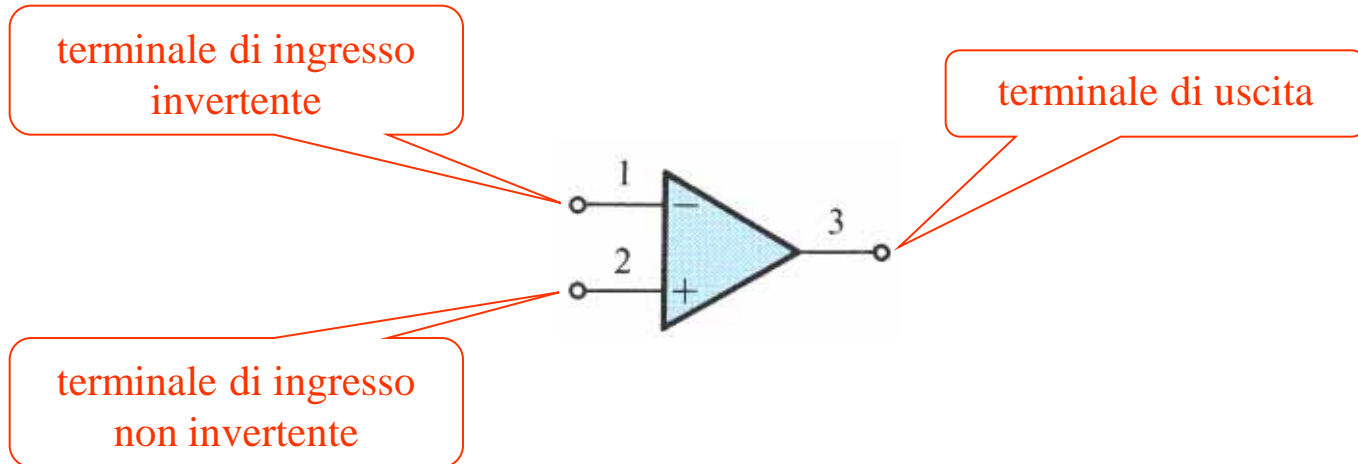
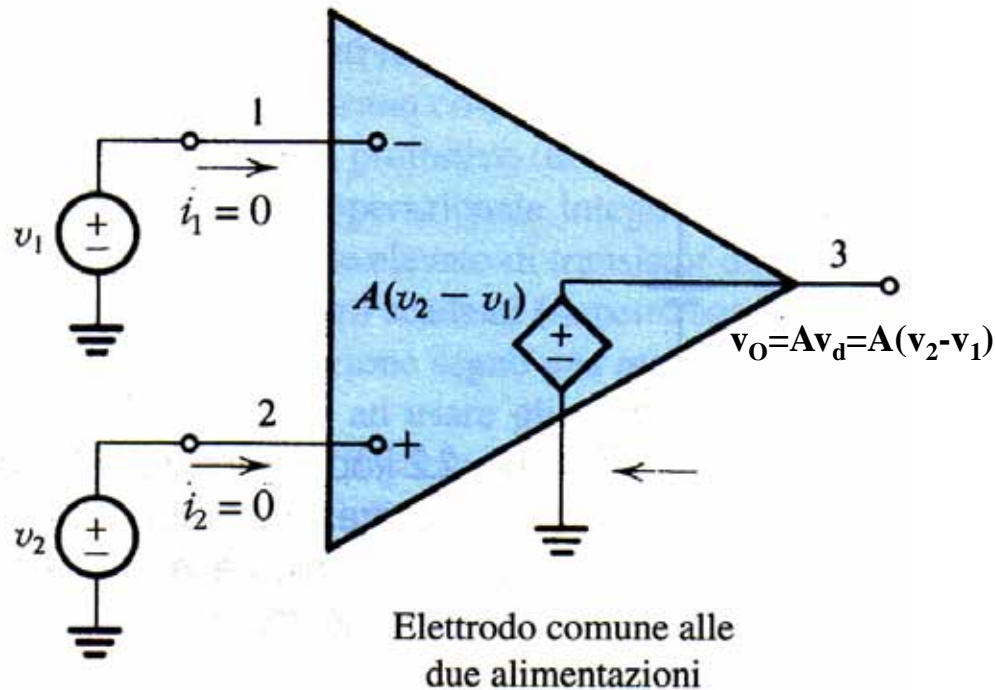


# **Amplificatori operazionali**

# Simbolo circuitale dell'amplificatore operazionale



# Amplificatore operazionale ideale



$$\emptyset A = A_0 = \infty$$

$$\emptyset A_0 \text{ costante, indipendente da } f$$

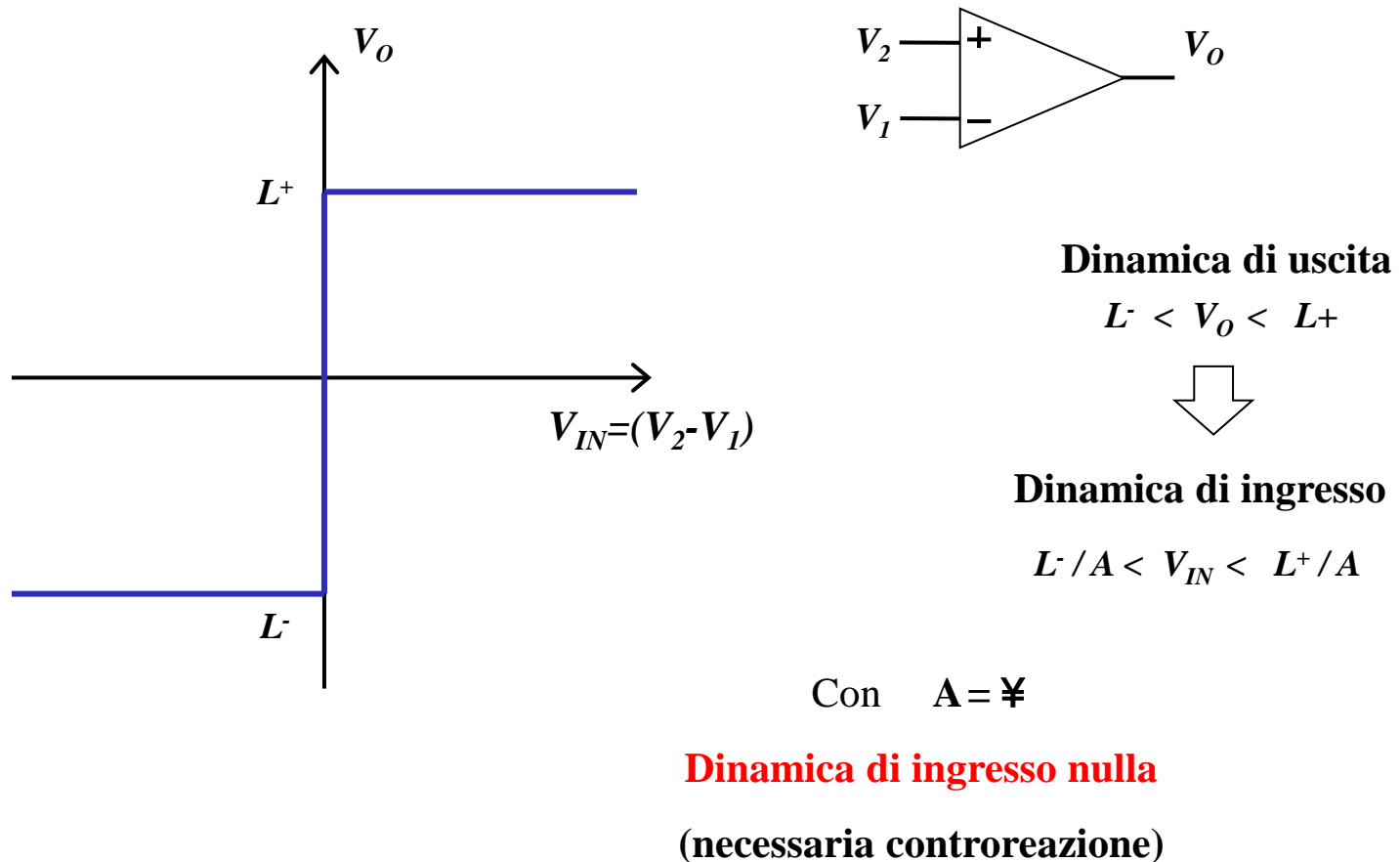
$$\emptyset i_i = 0$$

$$\emptyset R_i = \infty$$

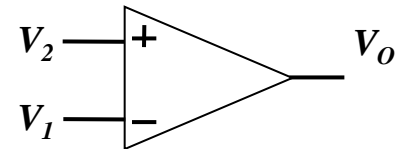
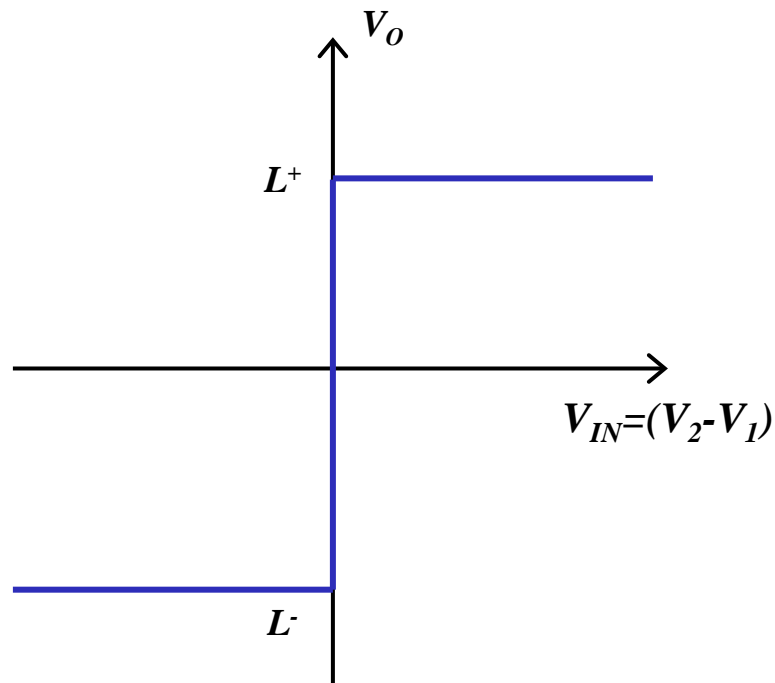
$$\emptyset R_o = 0$$

$$\emptyset \text{CMRR} = \infty$$

# Amplificatore operazionale ideale



# Amplificatore operazionale ideale



Se

$$L^- < V_o < L^+$$



$$V_{IN} = (v_2 - v_1) = 0$$

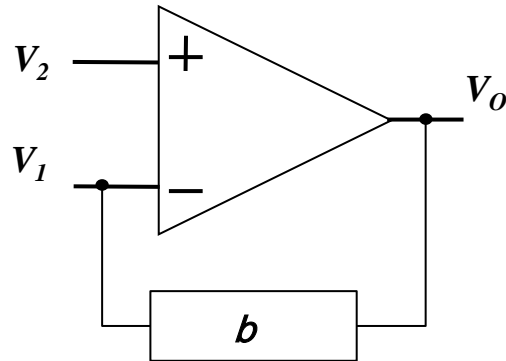
$$V_2 = V_1$$

**Corto circuito virtuale**

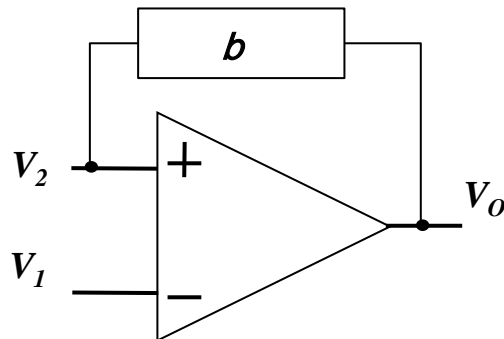
**(stesso potenziale ma corrente nulla)**

# Amplificatore operazionale ideale

---

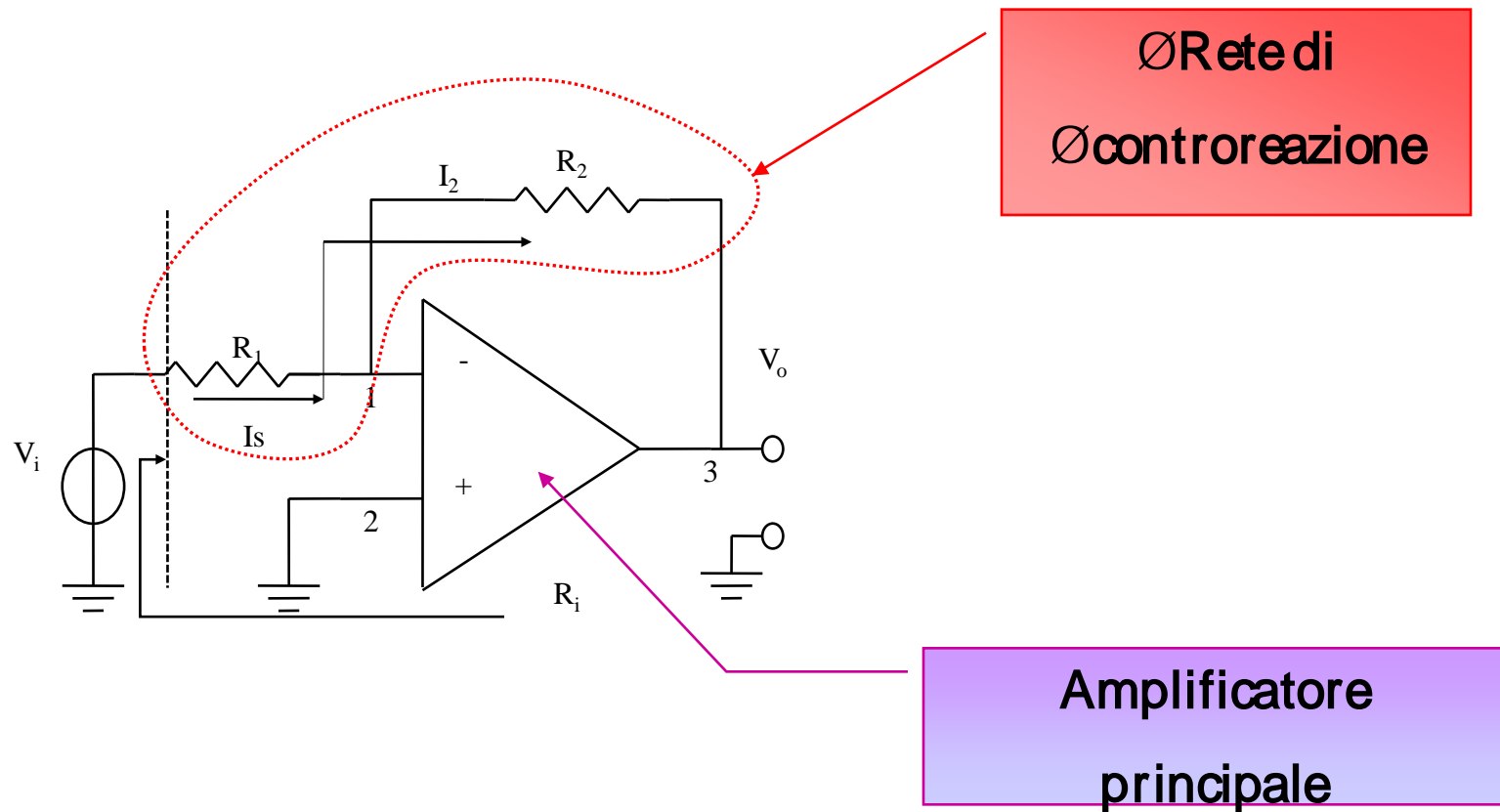


Controreazione negativa  
(amplificatori lineari)

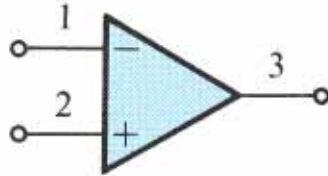


Controreazione positiva  
(multivibratori)

# Esempio di amplificatore controreazionato: l'amplificatore invertente



# Configurazioni fondamentali dei circuiti con AO



$$v_O = A v_d = A(v_2 - v_1)$$

**configurazione invertente**



$$v_2 = 0$$



$$v_O = -A v_1$$



$v_O$  è in opposizione di fase con la tensione di ingresso

**configurazione non invertente**



$$v_1 = 0$$

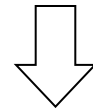


$$v_O = A v_2$$

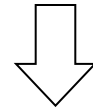


$v_O$  è in fase con la tensione di ingresso

**amplificatore differenziale**



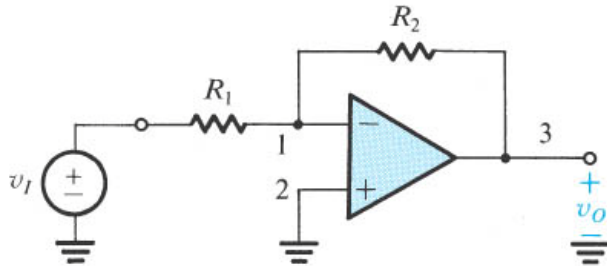
$$v_O = A(v_2 - v_1)$$



$v_O$  è l'amplificazione del segnale differenza



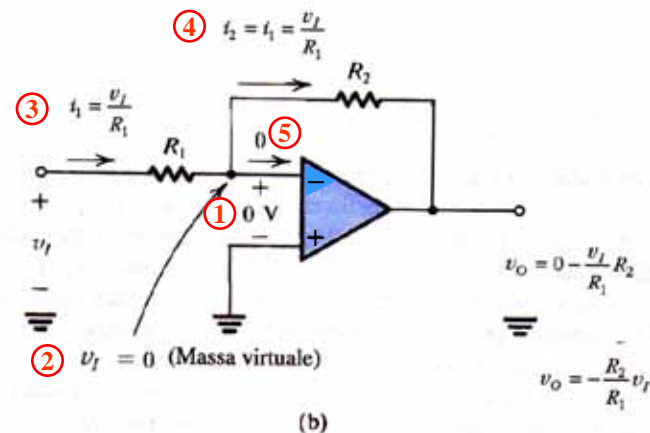
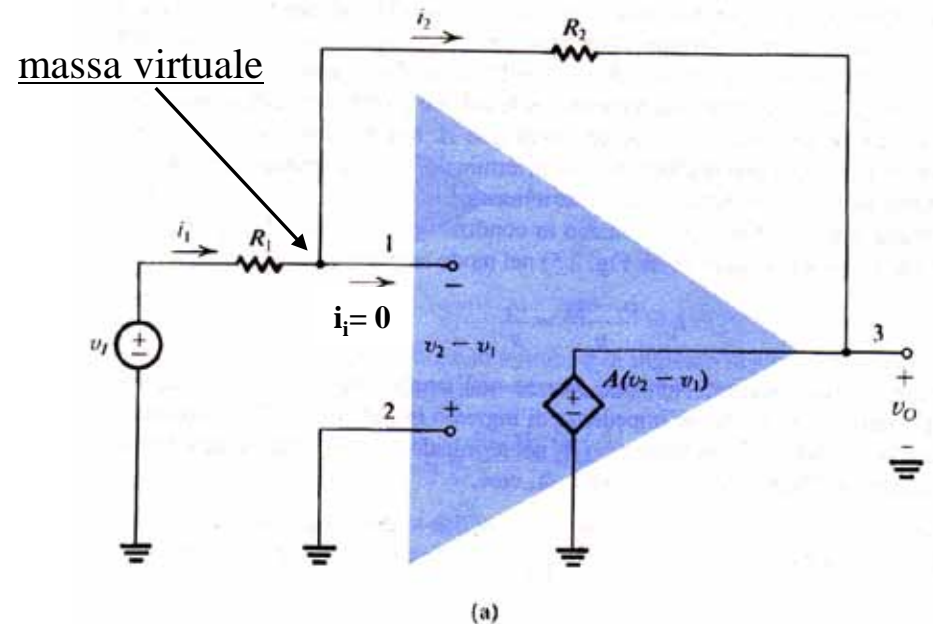
# Configurazione invertente nel caso di A infinito



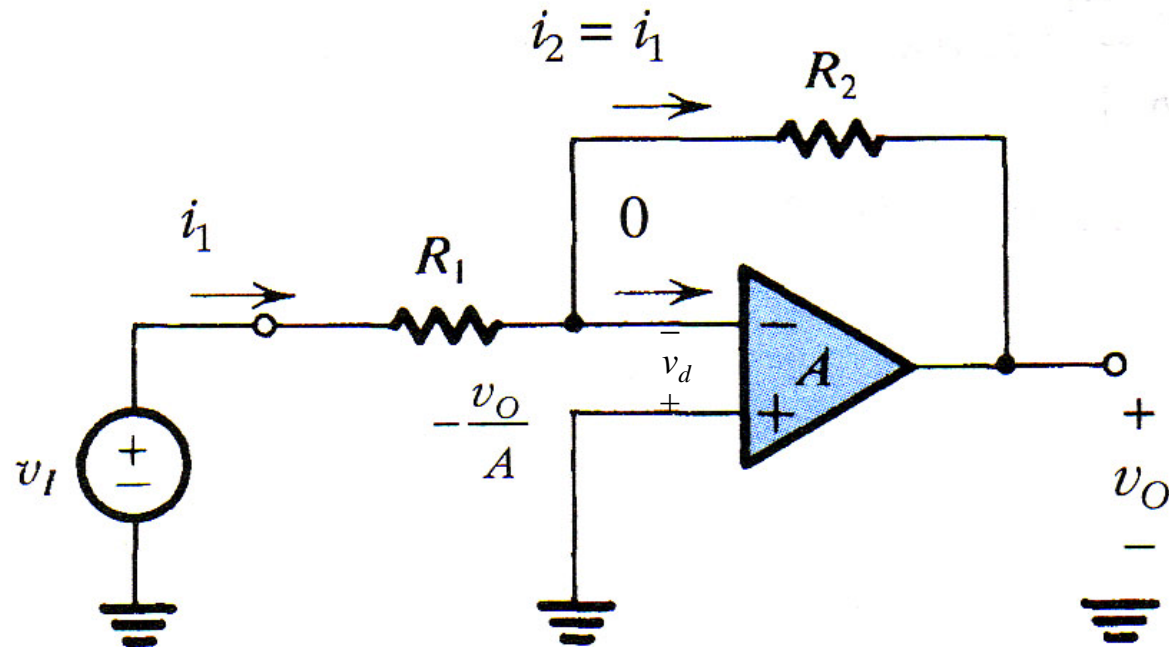
$$G \circ \frac{v_O}{v_I} = - \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{in} \circ \frac{v_I}{i_1} = \frac{v_I}{(v_I + v_d)/R_1} \gg R_1$$

$$R_{out} = 0$$



# Configurazione invertente nel caso di A finito



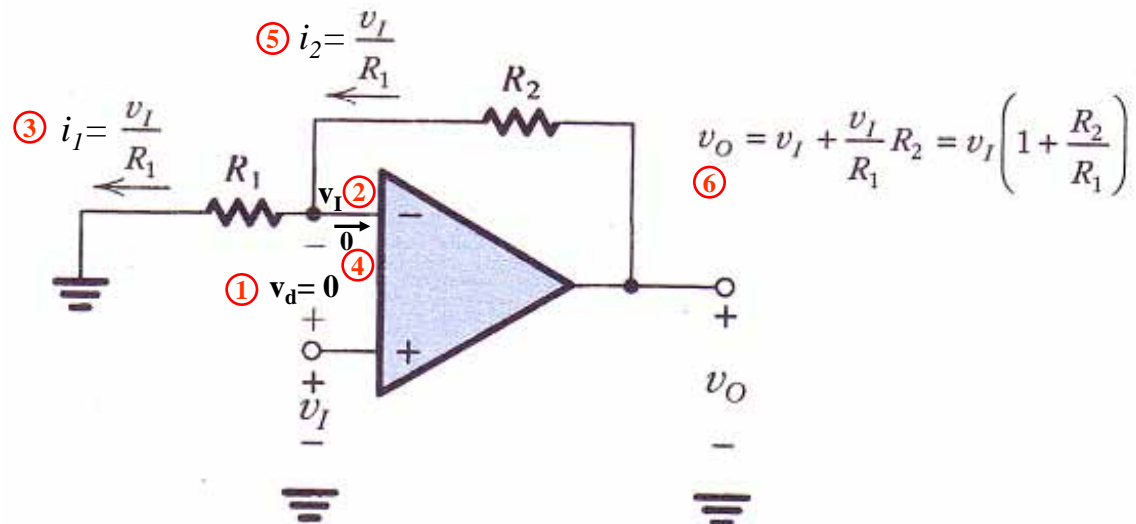
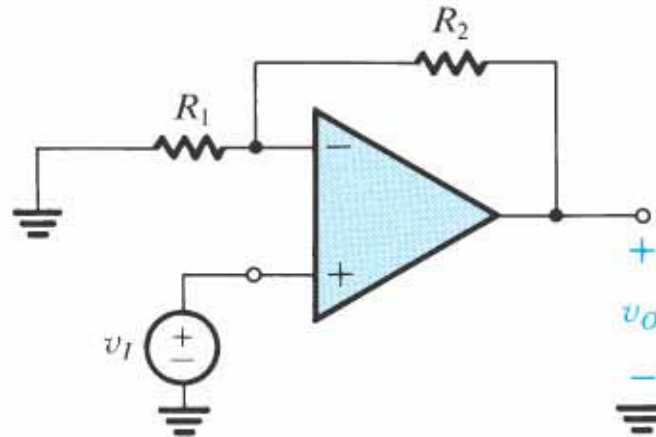
$$G \approx \frac{v_O}{v_I} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{A}}$$

# Configurazione non invertente con A infinito

$$G^0 \frac{v_O}{v_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

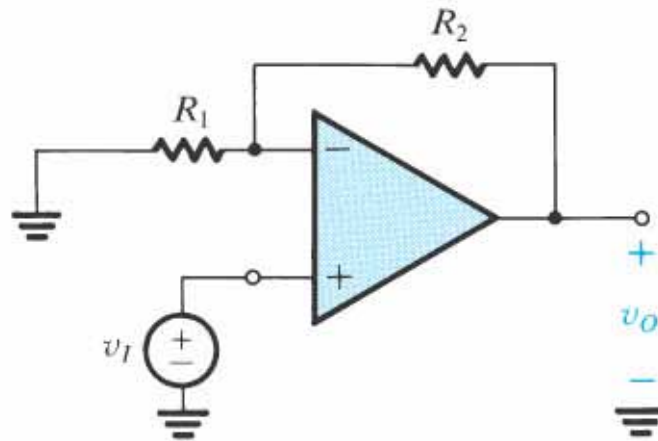
$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = 0$$



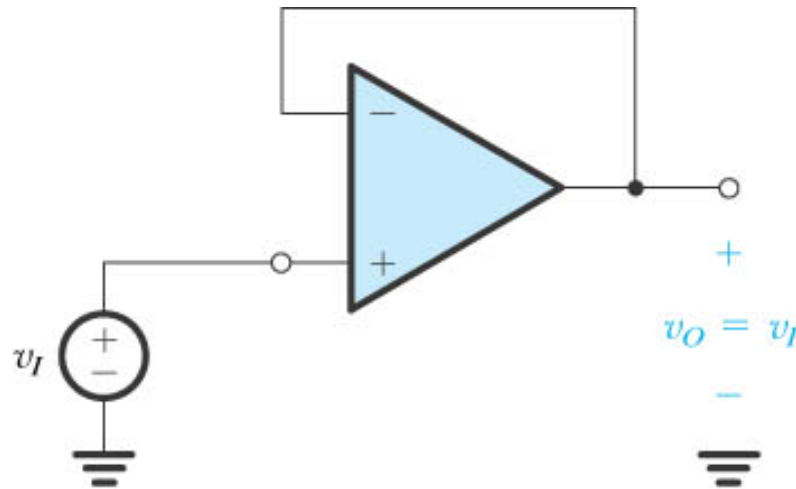
# Configurazione non invertente nel caso di A finito

---

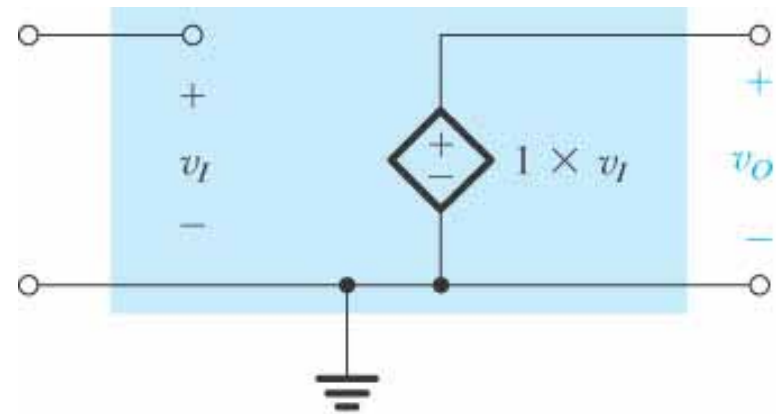


$$G \circ \frac{v_O}{v_I} = \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + (1 + R_2 / R_1) / A}$$

# Buffer o inseguitore a guadagno unitario



(a)



(b)

*nel caso ideale:*

$$v_O = v_I$$

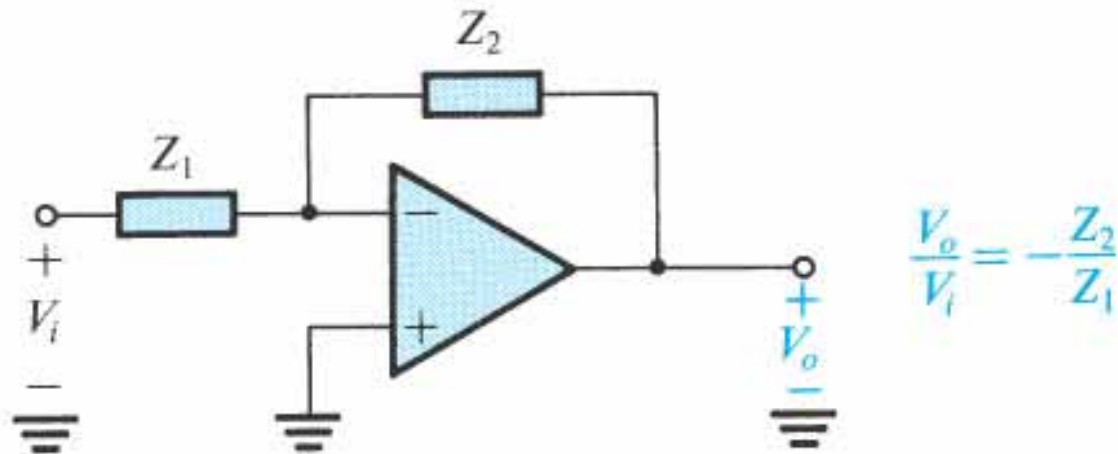
$$R_{in} = \infty$$

$$G = 1$$

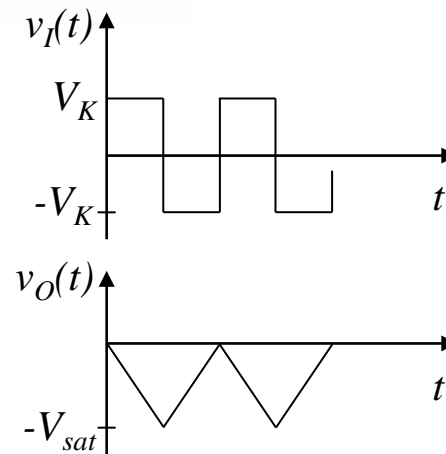
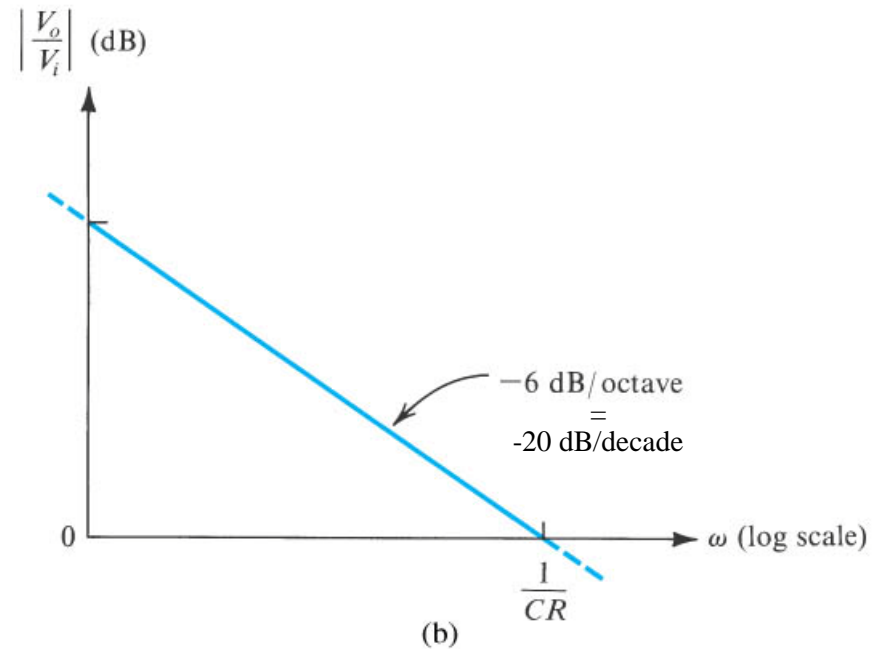
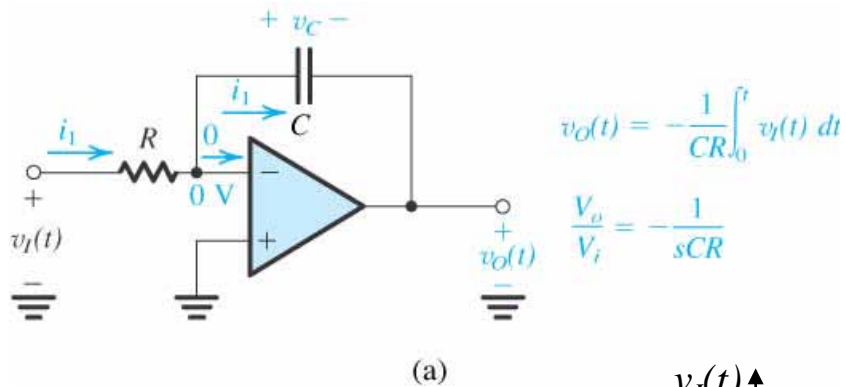
$$R_{out} = 0$$

# Configurazione invertente con impedenze generiche

---



# Integratore di Miller

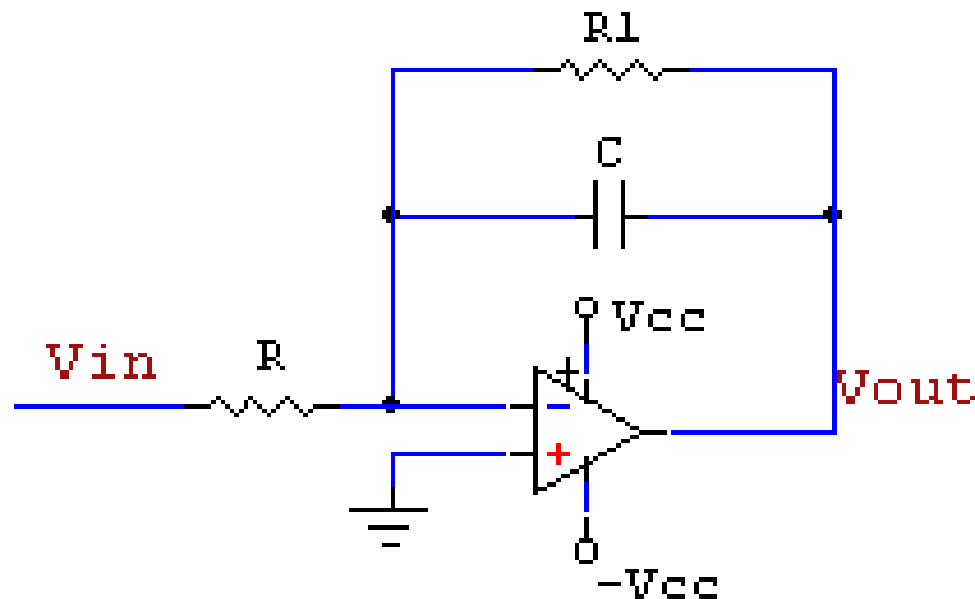


# Integratore di Miller

In pratica, se proviamo ad utilizzare il precedente schema, un qualsiasi rumore di bassa frequenza, inevitabilmente presente all'ingresso dell'integratore, verrà amplificato a tal punto da diventare rilevante in uscita. Il problema si risolve facendo in modo che l'amplificazione, a bassa frequenza, non possa oltrepassare un certo limite. Questo risultato lo si ottiene inserendo in parallelo al condensatore di capacità  $C$  una resistenza  $R_1$

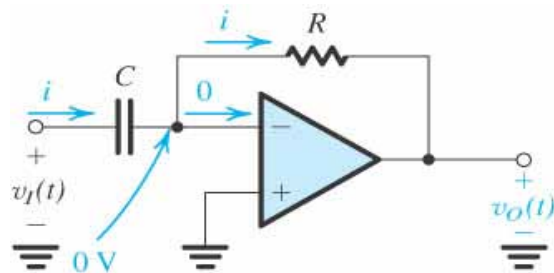
Il nostro circuito non è altro che un filtro passa basso attivo la cui frequenza di taglio è:

$$f_t = \frac{1}{2\pi C R_1}$$





# Derivatore

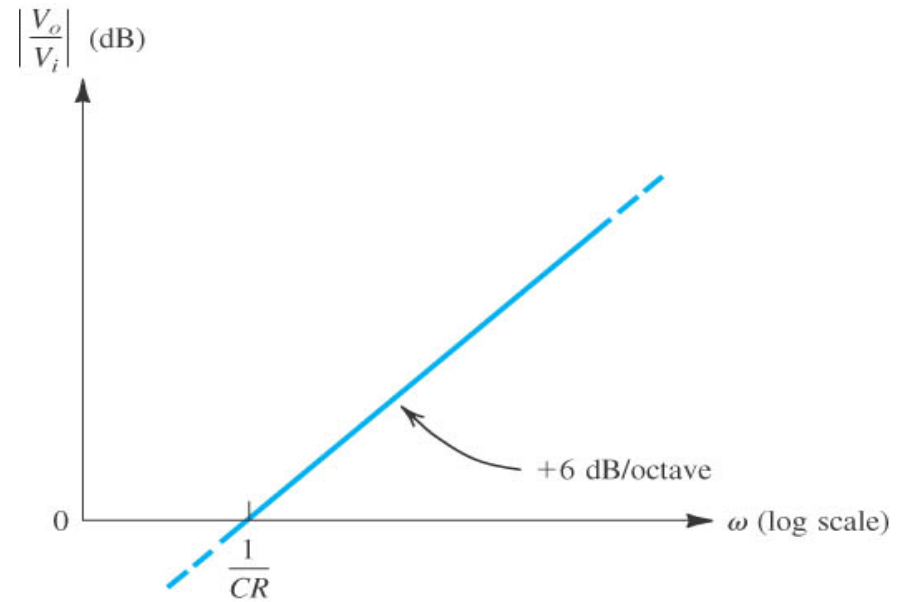


(a)

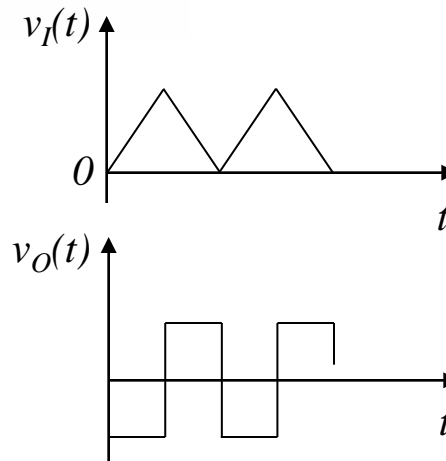
$$i(t) = C \frac{dv_I(t)}{dt}$$

$$v_O(t) = -CR \frac{dv_I(t)}{dt}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -sCR$$



(b)

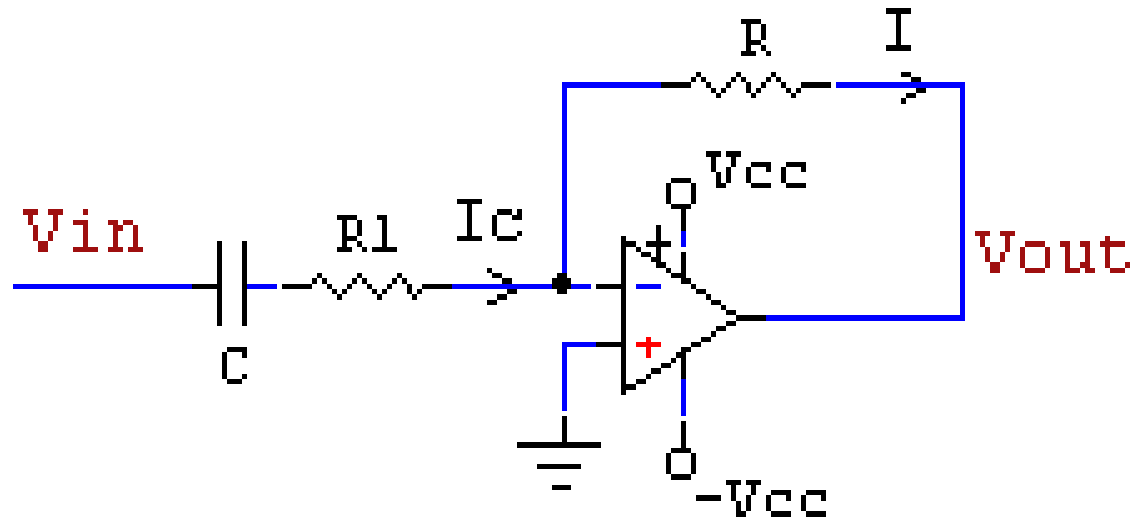


# Derivatore

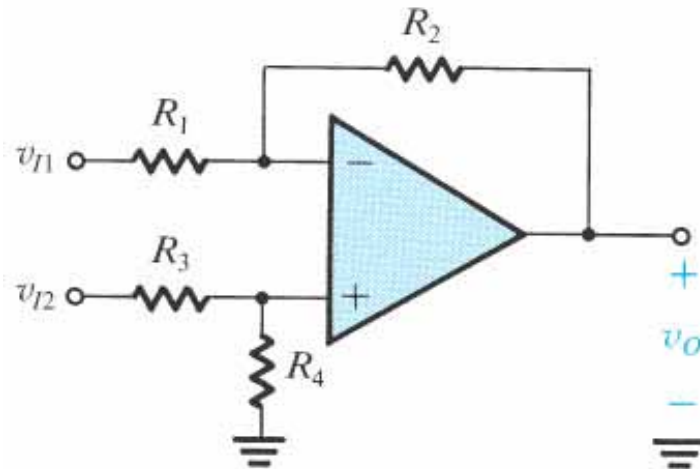
In pratica, se proviamo ad utilizzare il precedente schema, un qualsiasi rumore di alta frequenza, inevitabilmente presente all'ingresso del derivatore, verrà amplificato a tal punto da rendere inutilizzabile l'amplificatore. Il problema si risolve facendo in modo che l'amplificazione, all'aumentare della frequenza, non possa oltrepassare un certo limite. Questo risultato lo si ottiene inserendo in serie al condensatore di capacità  $C$  una resistenza  $R1$

Il nostro circuito non è altro che un filtro passa alto attivo la cui frequenza di taglio è:

$$f_t = \frac{1}{2\pi CR1}$$



# Amplificatore differenziale (1/3)



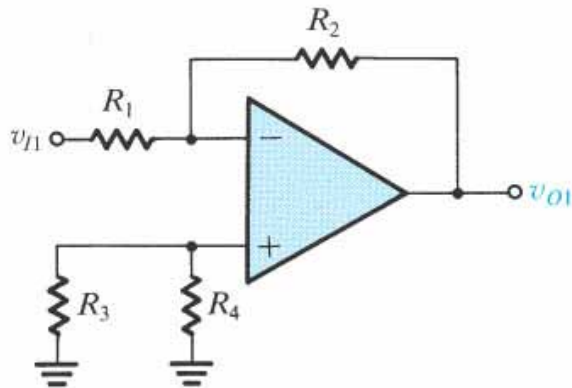
$$v_O = -\frac{R_2}{R_1}v_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_3 + R_4}v_2$$

*che nel caso in cui  
 $R_2/R_1 = R_4/R_3$  diventa:*

$$v_O = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)$$

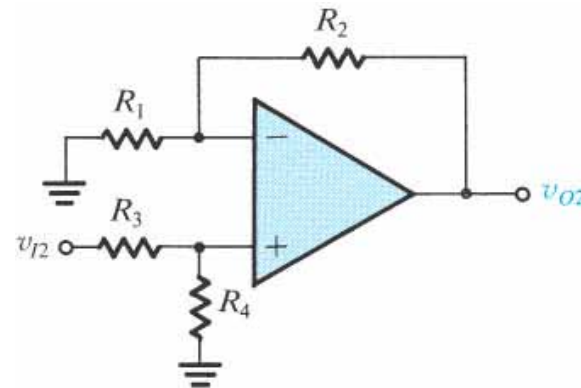
# Amplificatore differenziale (2/3)

*Analisi del circuito con il principio di sovrapposizione degli effetti*



(a)

$$v_{O1} = - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

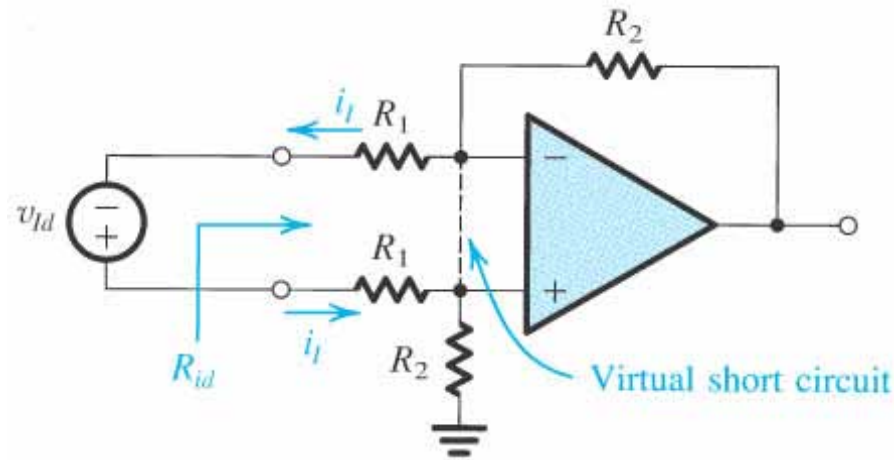


(b)

$$v_{O2} = v_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} v_1$$

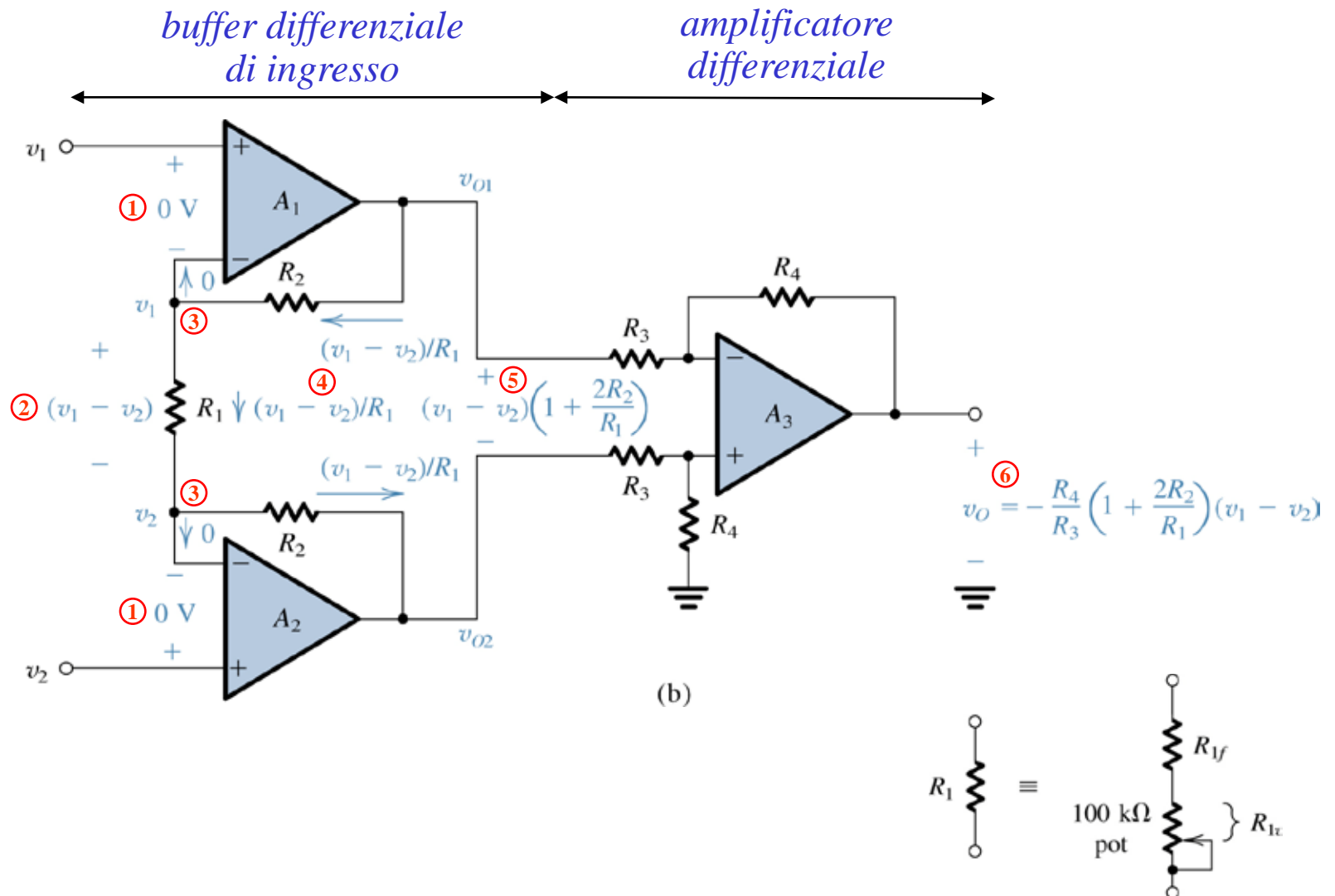
# Amplificatore differenziale (3/3)

*Calcolo della  $R_{in}$  nel caso particolare  $R_3=R_1$  e  $R_4=R_2$*

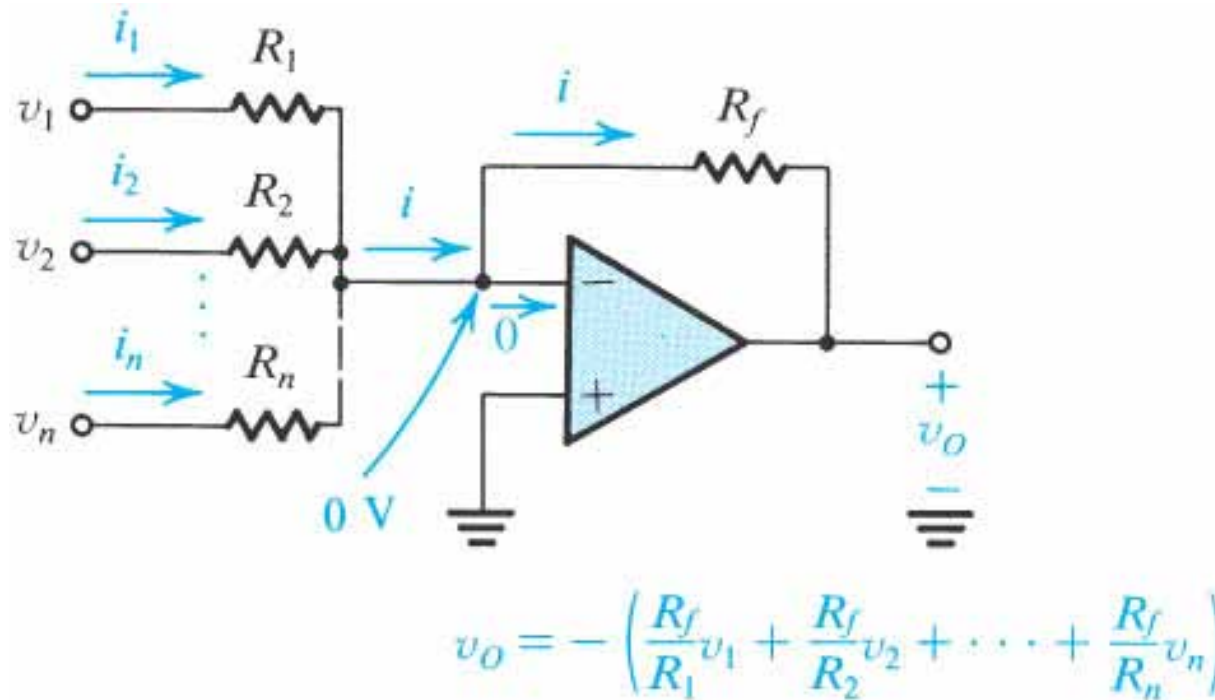


$$R_{in} = 2R_i$$

# Amplificatore per strumentazione



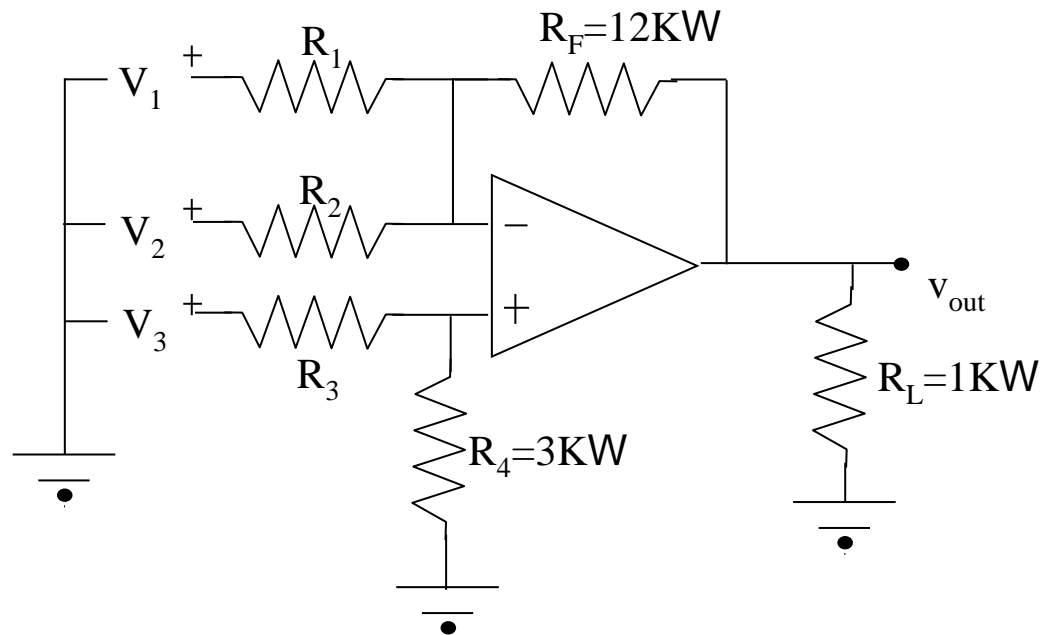
# Sommatore pesato invertente



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Del seguente circuito, con l'amplificatore operazionale ideale, determinare le resistenze  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  affinché la tensione di uscita dell'amplificatore valga:

$$V_{\text{out}} = 3V_3 - 4V_2 - 2V_1$$





# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Calcolare la corrente  $I_L$  che, nel seguente circuito, scorre nella resistenza  $R_L$ , in presenza di una tensione d'ingresso  $V_{in} = 2\text{ V}$ .

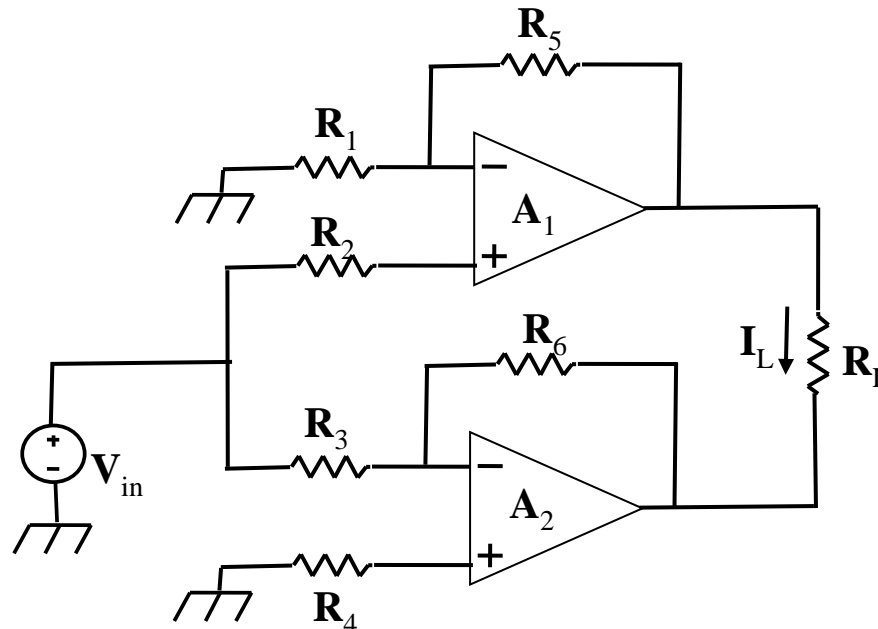
**Amplificatore operazionale ideale**  $V_+ = -V_- = 12\text{ V}$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4\text{ KW}$

$R_5 = 2\text{ KW}$

$R_6 = 12\text{ KW}$

$R_L = 6\text{ KW}$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Il circuito di figura è caratterizzato dai seguenti parametri:

$$i = 1 \text{ mA} ;$$

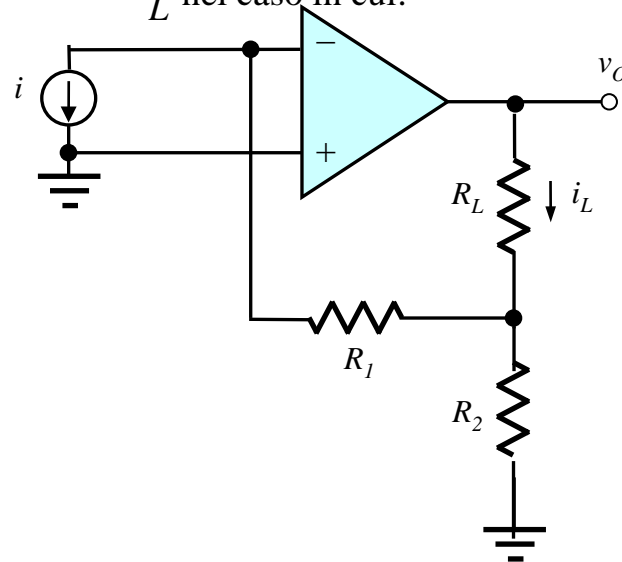
$$R_1 = 6 \text{ kW}; \quad R_2 = 2 \text{ kW};$$

op amp ideale con  $V^+ = V^- = 12\text{V}$ ;

Determinare la corrente  $i_L$  che scorre sulla resistenza di carico  $R_L$  nel caso in cui:

a)  $R_L = 1 \text{ kW}$

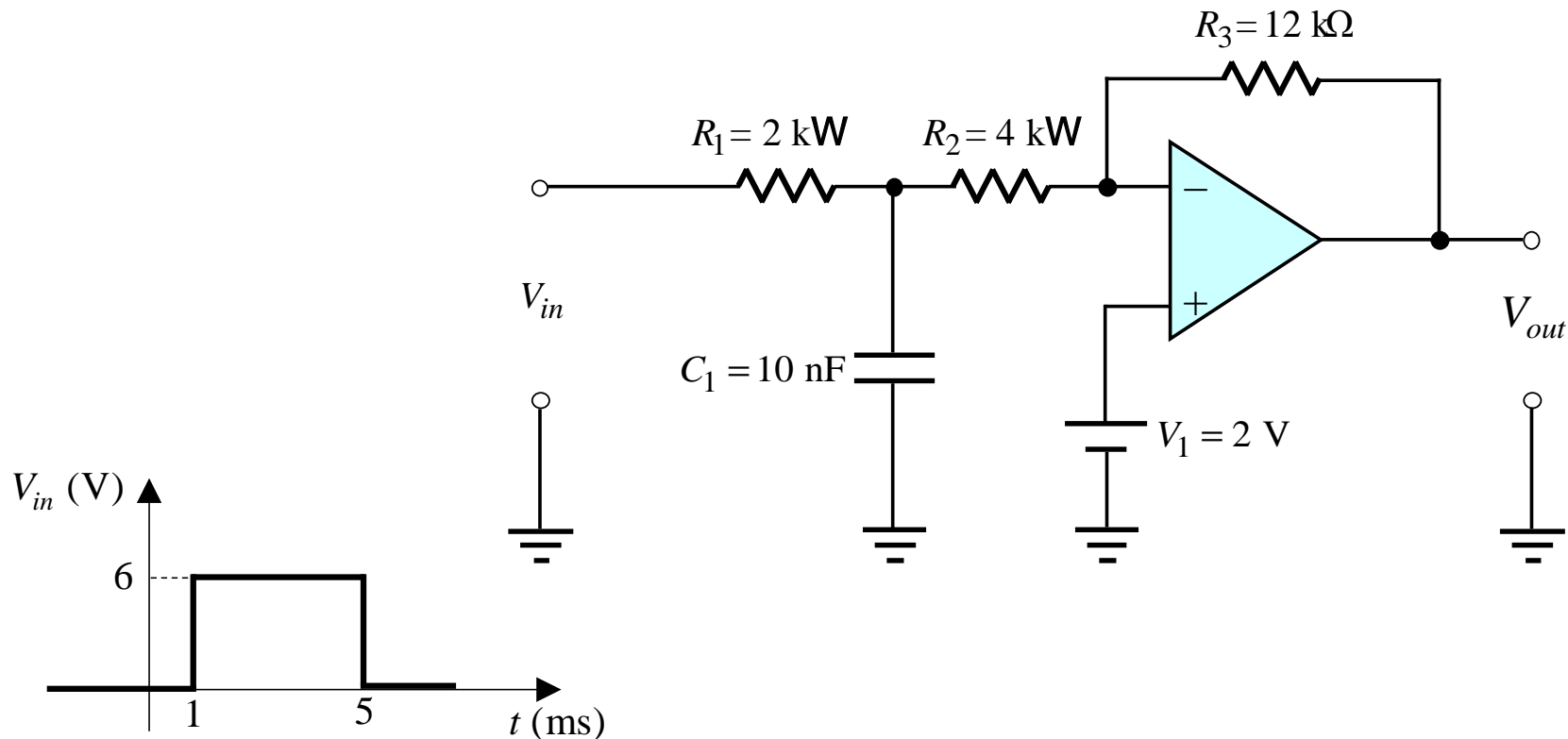
b)  $R_L = 2 \text{ kW}$ .



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Si consideri il circuito riportato in figura. Dato il segnale di ingresso  $V_{in}$  determinare l'andamento temporale della tensione di uscita  $V_{out}$ .

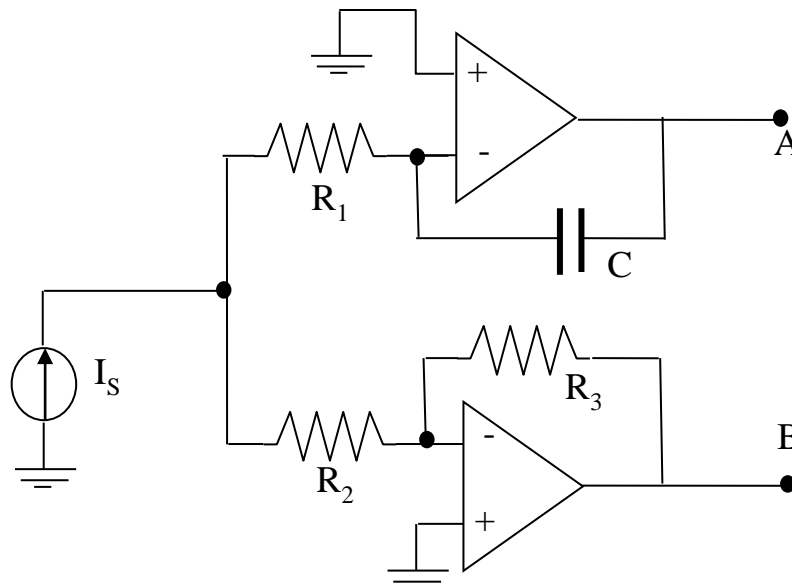
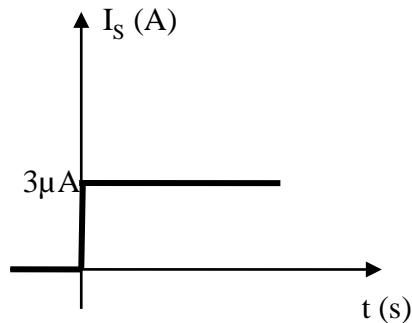
Op Amp ideale  $V_{sat}^+ = -V_{sat}^- = 20 \text{ V}$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Dato il circuito in figura, considerando l'ingresso a gradino  $I_S$  riportato, determinare l'evoluzione temporale della  $V_A - V_B$  e disegnarne il grafico riportando i punti significativi fino a  $t = 5$  secondi. Supporre gli amplificatori operazionali ideali, con  $|L^+| = |L^-| = 12$  V, e il condensatore scarico per  $t < 0$ .

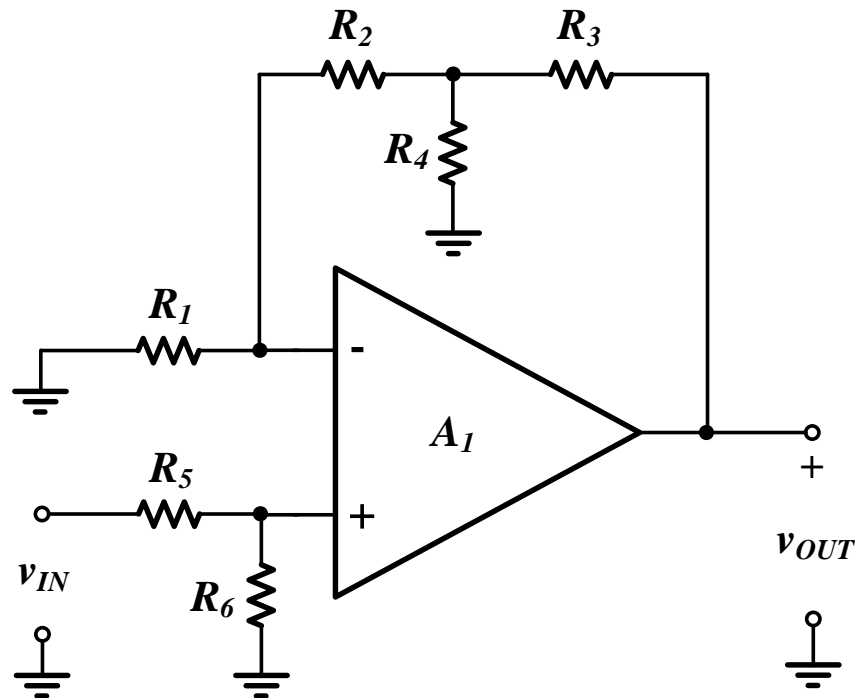
$$R_1 = 2 \text{ kW}, \quad R_2 = 4 \text{ kW}, \quad R_3 = 4 \text{ MW}, \quad C = 1 \text{ mF},$$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Dato il circuito di figura, in cui  $v_{IN}$  è un generatore di tensione, determinare il valore della resistenza  $R_3$  per avere un guadagno di tensione  $v_{OUT}/v_{IN}$  pari a 25.  
Considerare l'amplificatore operazionale ideale.

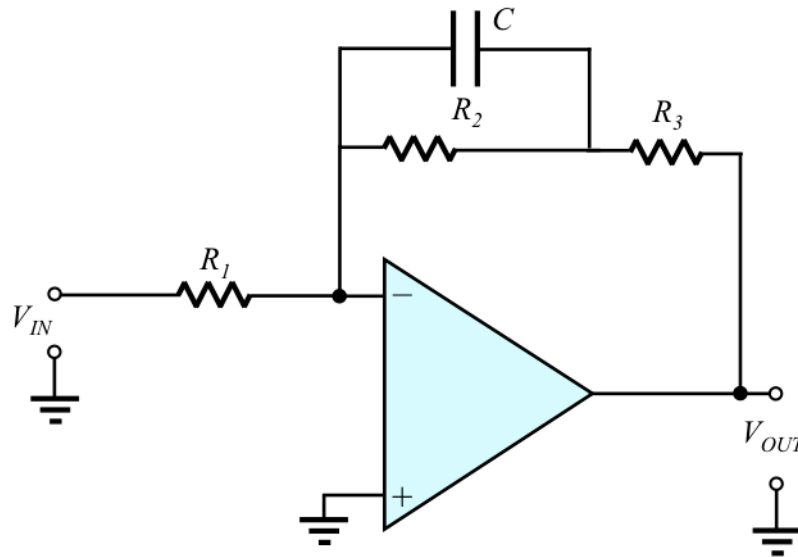
$$R_1 = 2\text{k}\Omega; \quad R_2 = 18\text{k}\Omega; \quad R_3 = ?; \quad R_4 = 1\text{k}\Omega; \quad R_5 = 6\text{k}\Omega; \quad R_6 = 2\text{k}\Omega$$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Dato il circuito di figura, considerando l'op-amp ideale con  $L^+ = |L^-| = 10 \text{ V}$ , calcolare l'andamento nel tempo della tensione di uscita in risposta ad un gradino ideale di ampiezza 2V applicato al tempo  $t=0$ .

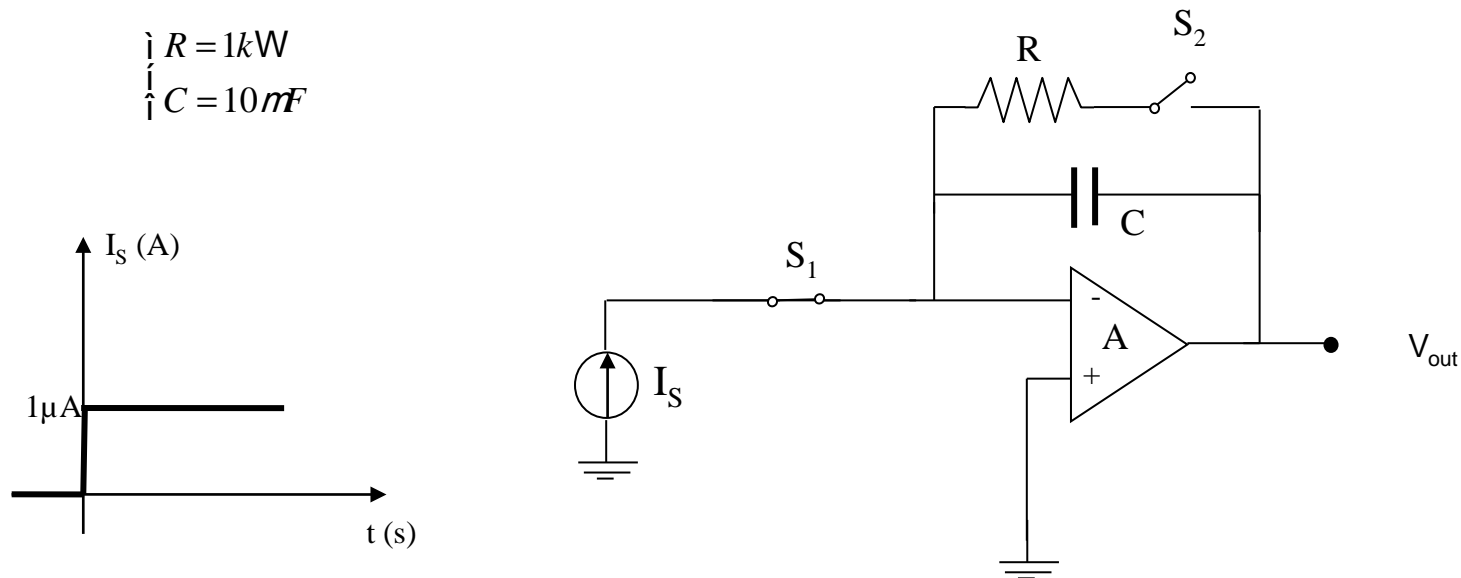
$$R_1=100\text{k}\Omega, \quad R_2=200\text{k}\Omega, \quad R_3=100\text{k}\Omega, \quad C=10\text{nF}$$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Sapendo che all'istante  $t=20\text{sec}$  l'interruttore  $S_1$  si apre e contemporaneamente l'interruttore  $S_2$  si chiude e nota la  $I_S$  nel tempo (vedi figura), determinare l'evoluzione temporale della  $V_{\text{out}}$  e disegnarne il grafico riportando i punti significativi.

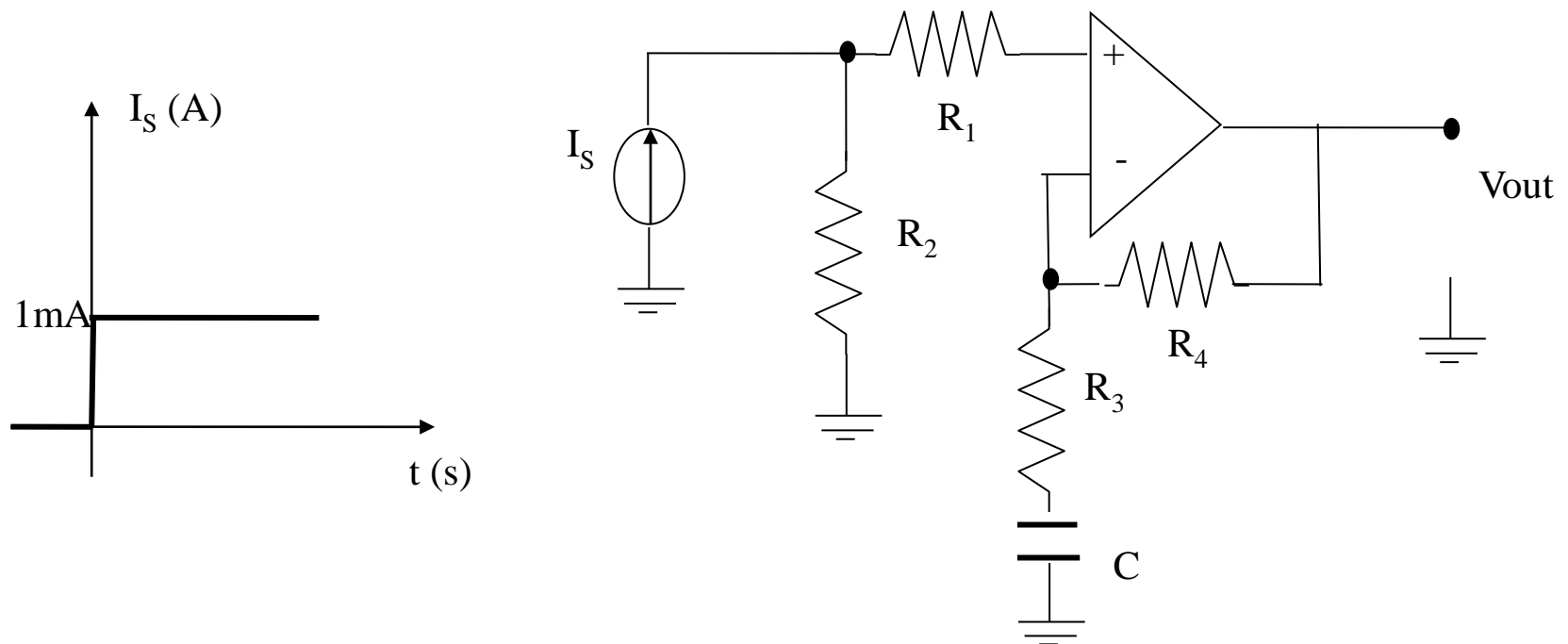
Supporre l'amplificatore operazionale A ideale e il condensatore scarico per  $t < 0$ .



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Dato il circuito in figura, considerando l'ingresso a gradino  $I_S$  riportato, determinare l'evoluzione temporale della tensione di uscita  $V_{out}$  e disegnarne il grafico.

Supporre l'amplificatore operazionale ideale, con  $|L^+| = |L^-| = 12\text{ V}$ ,  
 $R_1 = 2\text{ kW}$ ,  $R_2 = 2\text{ kW}$ ,  $R_3 = 1\text{ kW}$ ,  $R_4 = 4\text{ kW}$ ,  $C = 1\text{ mF}$ ,

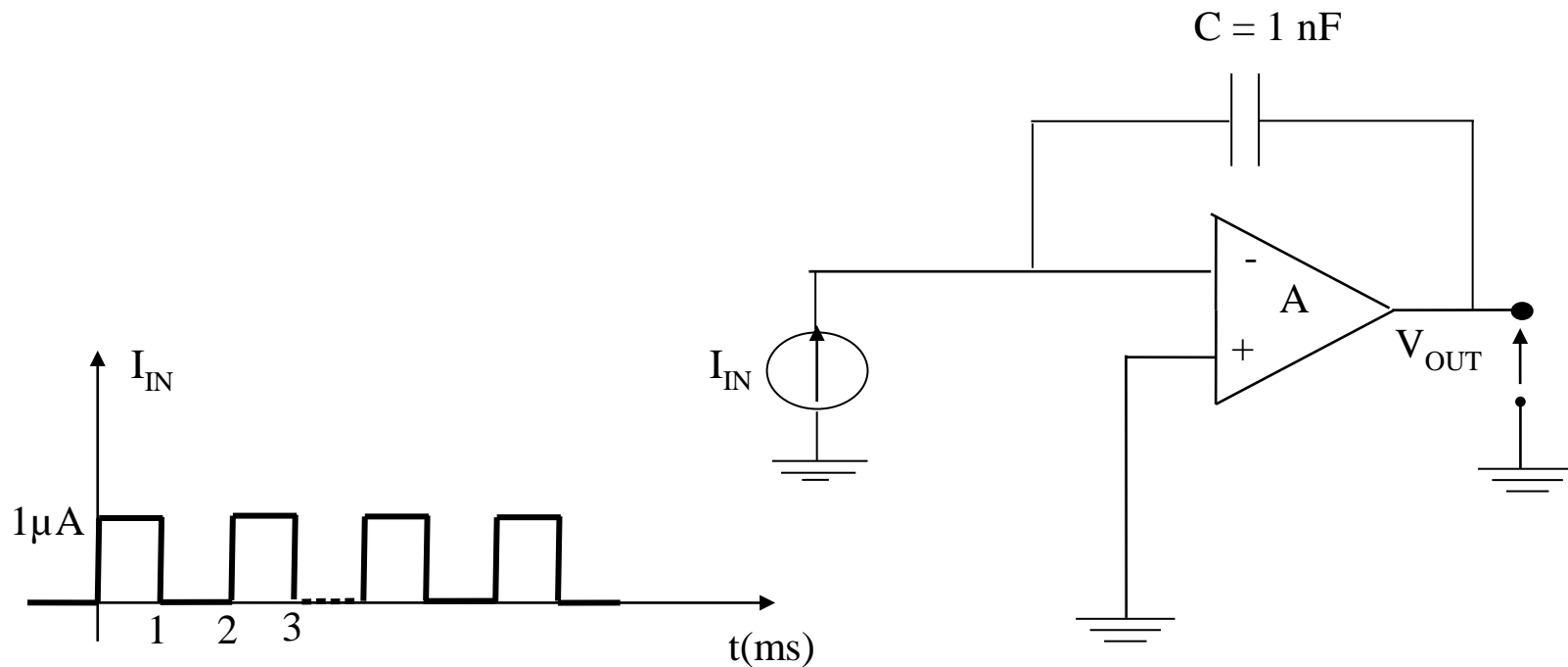




# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Dato il circuito in figura, considerando in ingresso il generatore di corrente  $I_{IN}$  ad onda quadra riportato in figura, determinare l'evoluzione temporale della tensione di uscita  $V_{out}$  e disegnarne il grafico riportando i punti significativi.

Supporre l'amplificatore operazionale ideale, con  $|L^+| = |L^-| = 5\text{ V}$ , e il condensatore scarico per  $t < 0$ .



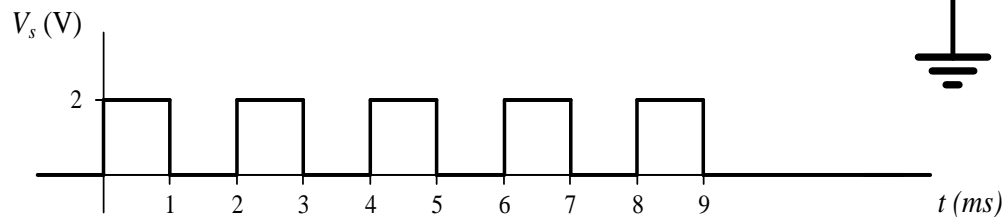
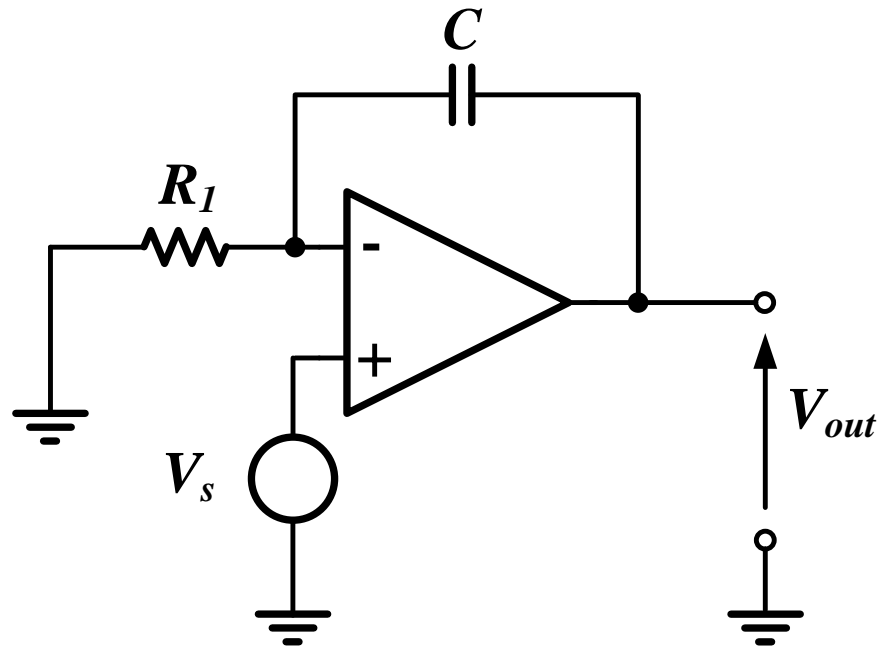
# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

Del circuito seguente determinare la tensione di uscita nel tempo con in ingresso il segnale ad onda quadra riportato in figura.

Amplificatore Operazionale ideale;  $L^+ = -L^- = 5\text{ V}$

$$R_1 = 5\text{ k}\Omega$$

$$C = 100\text{ nF}$$



# ESERCIZIO CON OPERAZIONALE

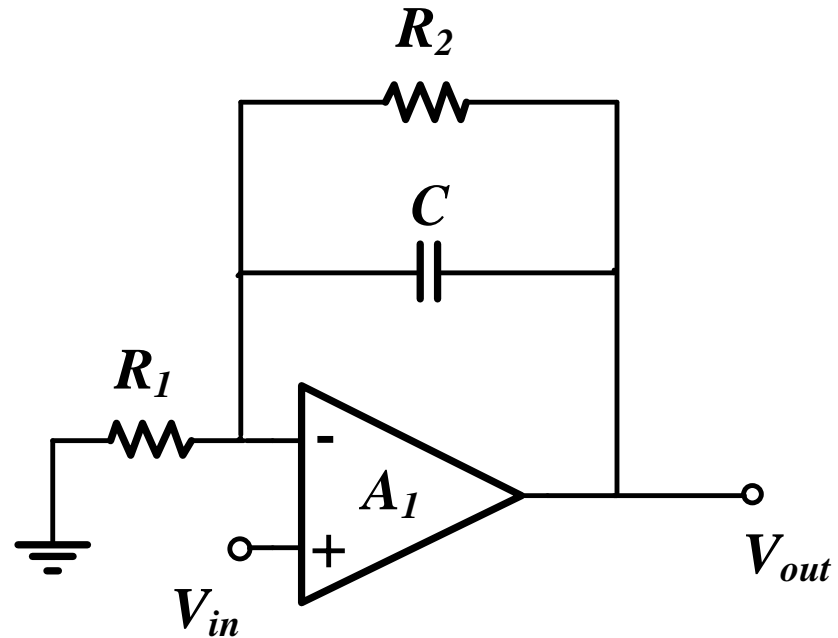
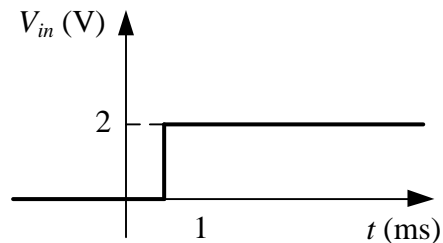
Dato il circuito in figura, calcolare e graficare l'andamento temporale della tensione di uscita  $V_{out}$  in presenza del segnale di ingresso  $V_{in}$  sotto riportato.

Considerare l'amplificatore operazionale  $A_1$  ideale con  $L^+ = |L^-| = 12 \text{ V}$ .

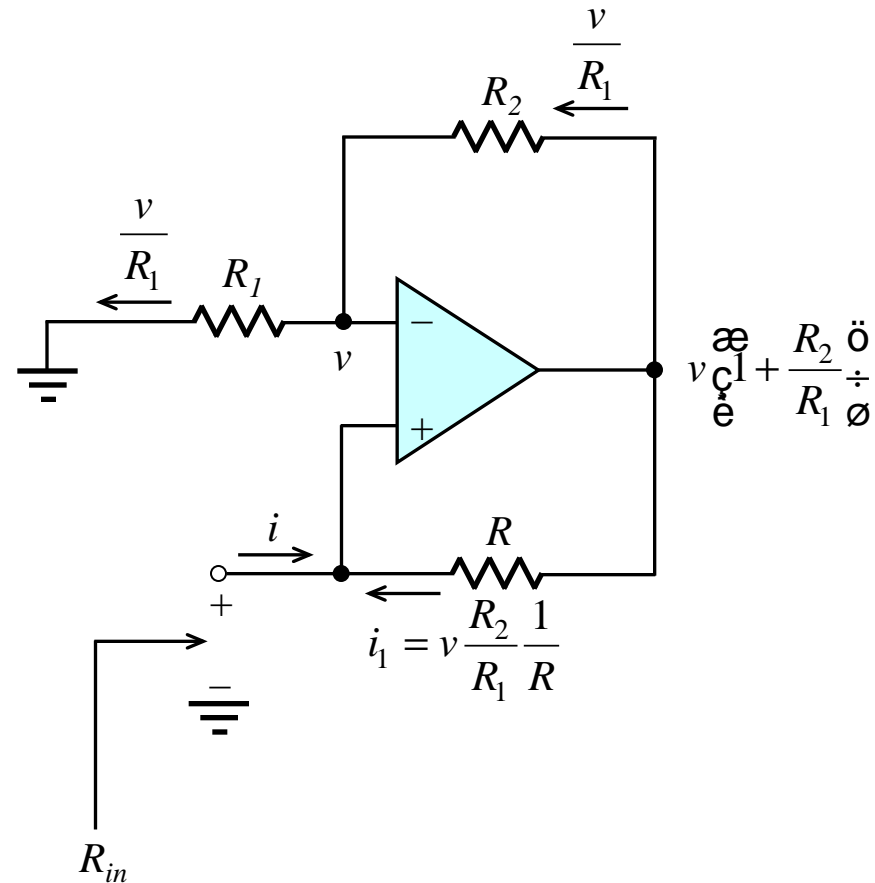
$$R_1 = 1 \text{ kW}$$

$$R_2 = 4 \text{ kW}$$

$$C = 0.1 \text{ nF}$$



# Convertitore d'impedenza negativa (NIC)



$$R_{in} = \frac{v}{i} = -R \frac{R_1}{R_2}$$