

# Laboratorio di Segnali e Sistemi

## - Esonero -2 -

### Esercizi OP-AMP



Claudio Luci  
**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

*last update : 070117*

# Esercizio 1

## Esercizio 56

Realizzare, con un amplificatore operazionale, un circuito che fornisca un'amplificazione  $A=15$ , con una resistenza d'ingresso di almeno 20 kOhm. Quale sara' la banda passante, nell'ipotesi che il nostro operazionale ha un prodotto banda x guadagno di  $10^6$  ?

# Soluzione esercizio 1

## Esercizio 56

Realizzare, con un amplificatore operazionale, un circuito che fornisca un'amplificazione  $A=15$ , con una resistenza d'ingresso di almeno  $20\text{ kOhm}$ . Quale sara' la banda passante, nell'ipotesi che il nostro operazionale ha un prodotto banda x guadagno di  $10^6$  ?

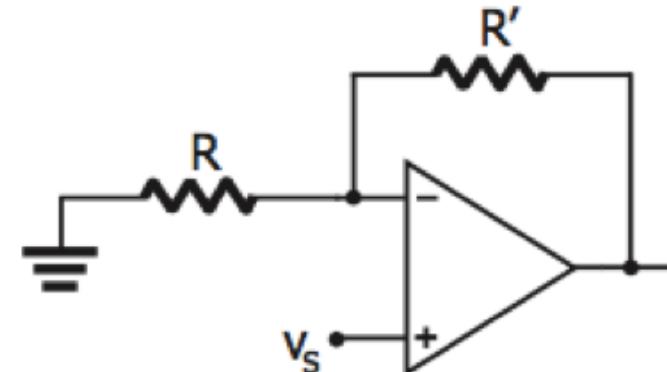
## Esercizio 56

Il problema può essere risolto realizzando il circuito in figura, dove dovrà avere  $R'/R = 14$ .

La banda passante è data da:

$$\frac{10^6}{15} \simeq 0.7 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

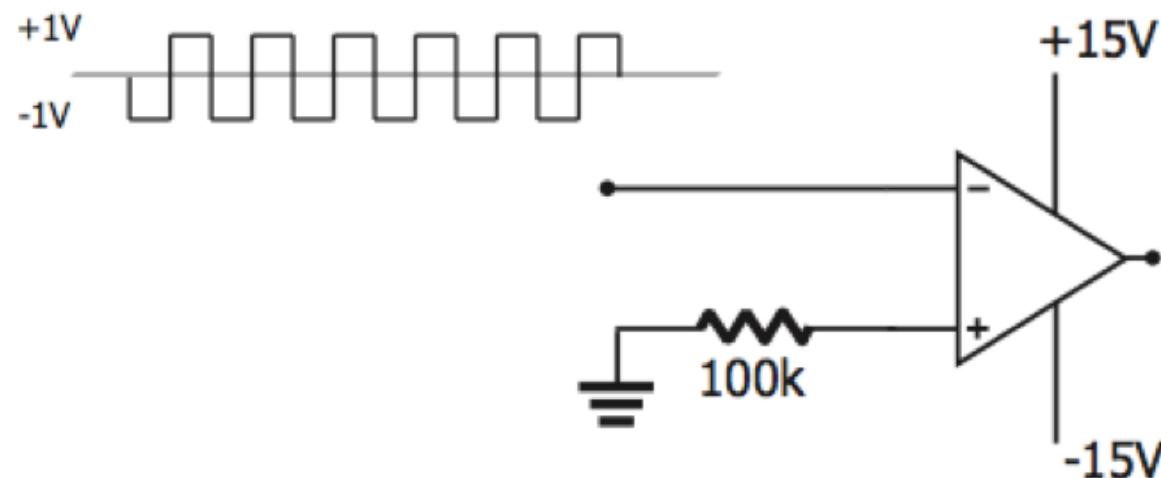
La resistenza d'ingresso è praticamente infinita.



# Esercizio 2

## Esercizio 57

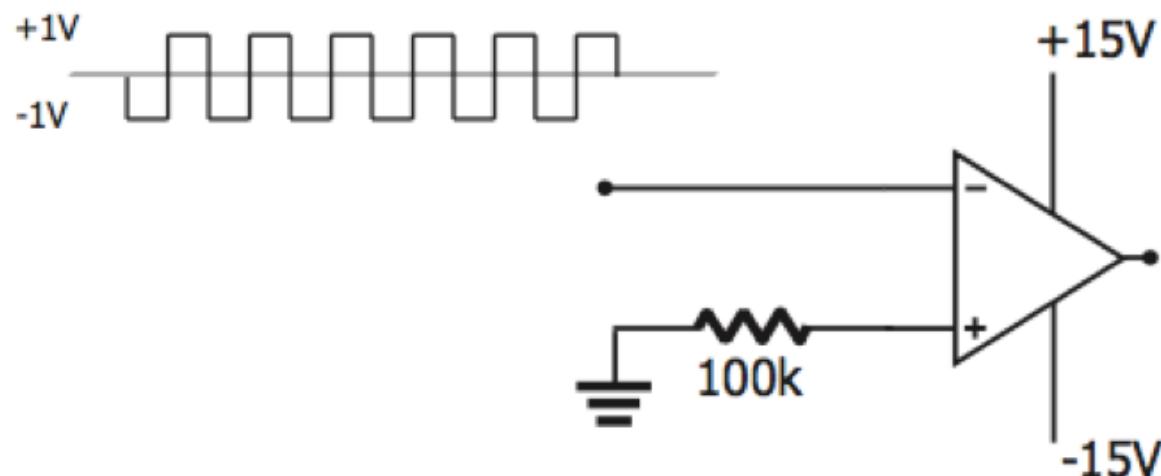
All'ingresso di questo circuito è inviata un'onda quadra con ampiezza 2V e valor medio 0V. Quale sara' la forma della tensione d'uscita?



# Soluzione Esercizio 2

## Esercizio 57

All'ingresso di questo circuito è inviata un'onda quadra con ampiezza  $2V$  e valor medio  $0V$ . Quale sarà la forma della tensione d'uscita?



## Esercizio 57

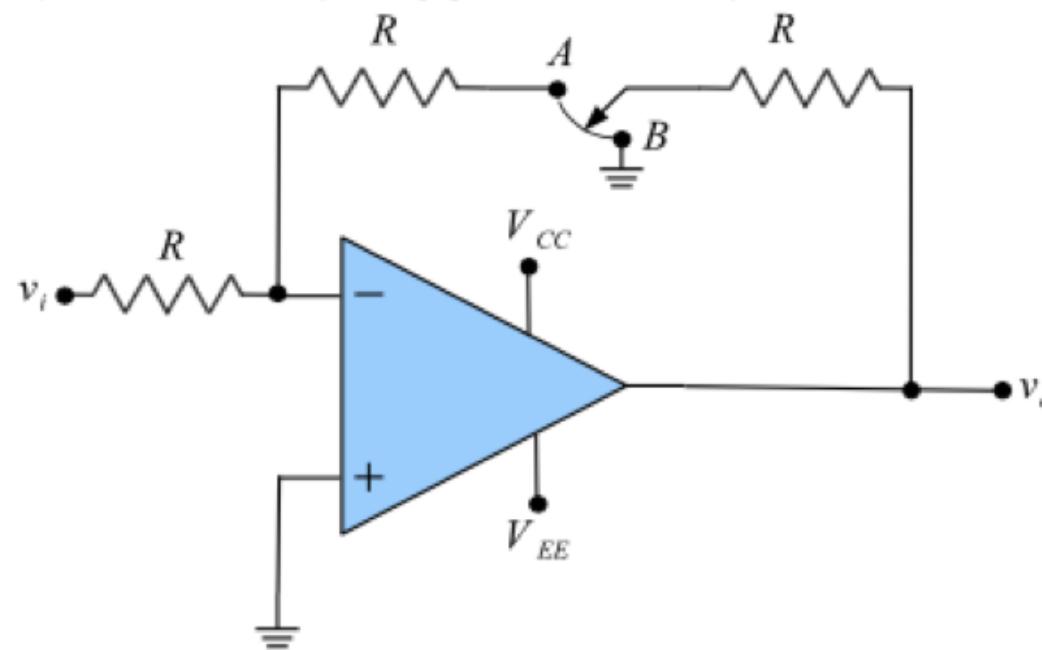
L'amplificatore non è reazionato. L'uscita quindi andrà in saturazione e oscillerà tra le tensioni di alimentazione. In sostanza si avrà un'onda quadra con valor medio nullo, tra  $-15$  e  $+15$  V.

# Esercizio 3

## Esercizio 58

Calcolare il valore di  $v_o$  per le due possibili posizioni dell'interruttore.

$$v_i = 1.5 \text{ V}, \quad V_{CC} = 12 \text{ V}, \quad V_{EE} = -12 \text{ V}$$

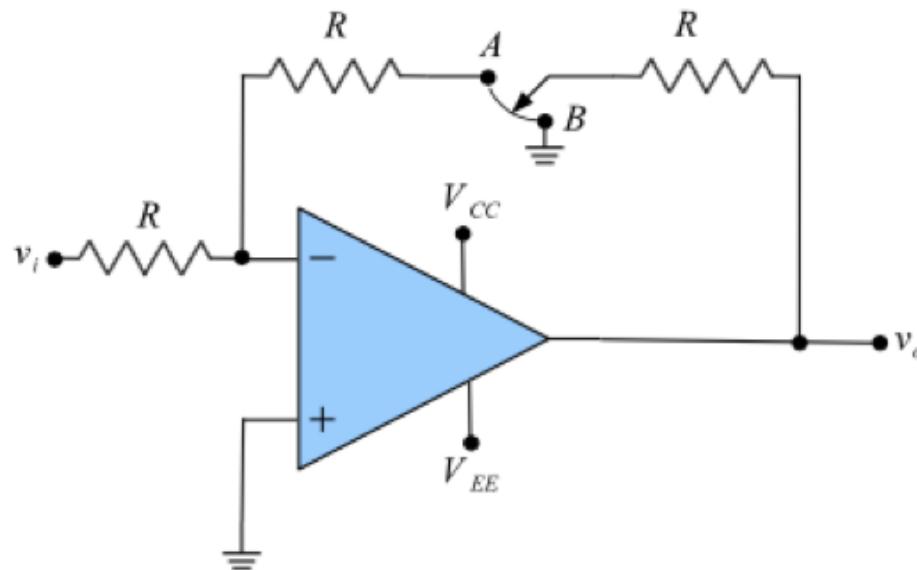


# Soluzione Esercizio 3

## Esercizio 58

Calcolare il valore di  $v_o$  per le due possibili posizioni dell'interruttore.

$$v_i = 1.5 \text{ V}, \quad V_{CC} = 12 \text{ V}, \quad V_{EE} = -12 \text{ V}$$



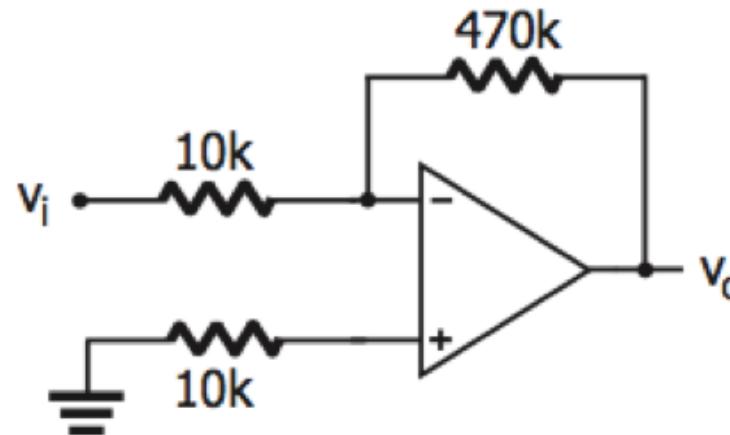
## Esercizio 58

Quando il deviatore e' nella posizione A il circuito è un amplificatore invertente, con  $A_v = -2$ , pertanto  $v_o = -3 \text{ V}$ . Quando il deviatore è nella posizione B l'anello di reazione è aperto, quindi  $v_o \simeq V_{EE} \simeq -12 \text{ V}$ .

# Esercizio 4

## Esercizio 60

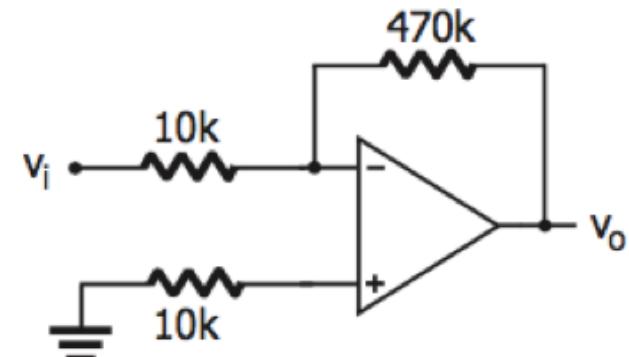
Qual è l'amplificazione di tensione del circuito riportato in figura? Qual è la sua resistenza d'ingresso? Se l'operazionale è alimentato con +15V/-15V, qual è la massima ampiezza di un segnale sinusoidale in ingresso che il circuito è in grado di amplificare senza distorsione?



# Soluzione Esercizio 4

## Esercizio 60

Qual è l'amplificazione di tensione del circuito riportato in figura? Qual è la sua resistenza d'ingresso? Se l'operazionale è alimentato con +15V/-15V, qual è la massima ampiezza di un segnale sinusoidale in ingresso che il circuito è in grado di amplificare senza distorsione?



## Esercizio 60

L'amplificazione di tensione e' data da

$$A_V = -\frac{470k}{10k} = -47$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} ; I_i = \frac{V_i - V_-}{R_1} = \frac{V_i - 0}{R_1} \Rightarrow R_i = 10 \text{ k}\Omega$$

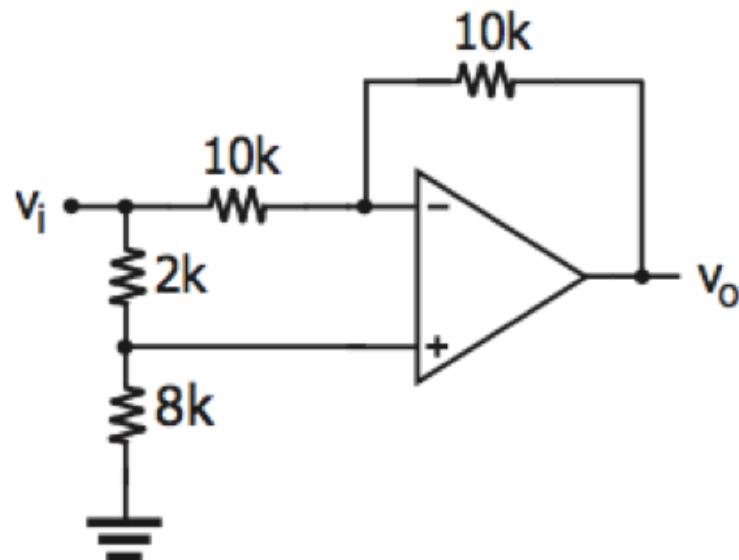
Affinche' non vi sia distorsione nel segnale (sinusoidale) in uscita la sua ampiezza deve essere inferiore a 15 V; quindi la massima ampiezza del segnale in ingresso e' data da:

$$v_{imax} = \frac{15}{47} \simeq 0.3V$$

# Esercizio 5

## Esercizio 61

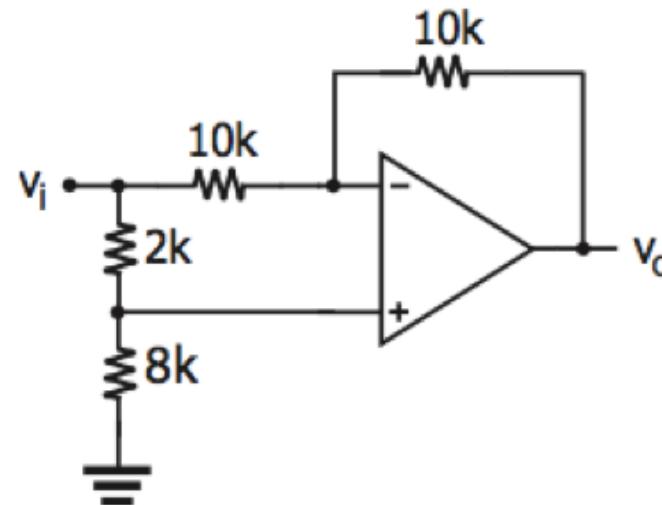
Trovare la risposta del circuito in figura



# Soluzione esercizio 5

## Esercizio 61

Trovare la risposta del circuito in figura



## Esercizio 61

Applicando le regole ‘auree’ si ricava facilmente

$$v_+ = \frac{8}{10} v_{in} = v_-$$

Scrivendo poi l’equazione del nodo al morsetto negativo

$$v_{in} - \frac{8}{10} v_{in} = \frac{8}{10} v_{in} - v_o$$

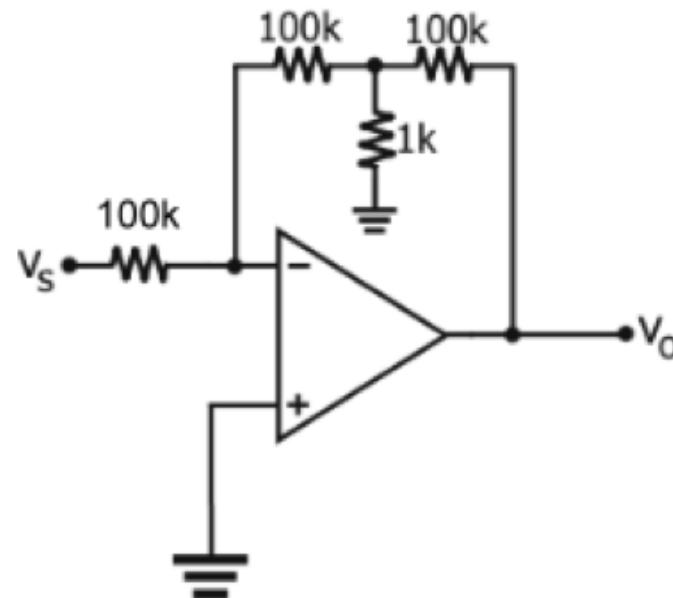
Si ricava facilmente

$$v_o = \frac{6}{10} v_{in}$$

# Esercizio 6

## Esercizio 65

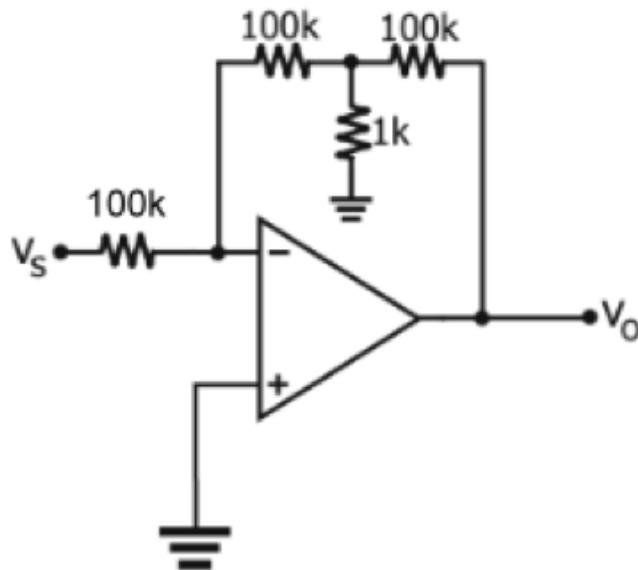
Calcolare l'amplificazione di tensione del circuito in figura.



# Soluzione esercizio 6

## Esercizio 65

Calcolare l'amplificazione di tensione del circuito in figura.



## Esercizio 65

L'esercizio si risolve come al solito, assumendo le regole 'auree' di un operazionale. La corrente che entra negli ingressi è trascurabile; i due ingressi sono alla stessa tensione. Si vede subito che i morsetti di ingresso sono entrambi a tensione zero. Conviene scrivere l'equazione del nodo in alto. Detta  $v_1$  la sua tensione si ha:

$$-\frac{v_1}{100k} = \frac{v_1}{1k} + \frac{v_1 - v_o}{100k}$$

Inoltre, guardando il nodo al morsetto d'ingresso, abbiamo che

$$\frac{v_s}{100k} = -\frac{v_1}{100k}$$

e quindi  $v_1 = -v_s$ . Sostituendo questo risultato nell'equazione precedente si ottiene facilmente

$$A = \frac{v_o}{v_s} = 102$$

# Esercizio 7

## Esercizio 55

Utilizzando degli amplificatori operazionali realizzare un circuito in grado di produrre un'uscita

$$v_{out} = (v_a + 2v_b - 3v_c)/3$$



# Soluzione Esercizio 7

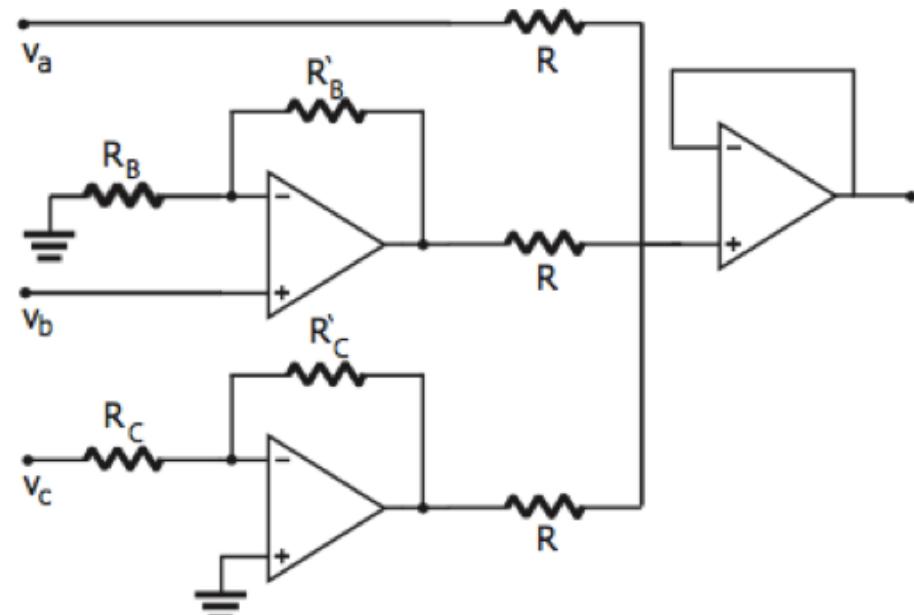
## Esercizio 55

Utilizzando degli amplificatori operazionali realizzare un circuito in grado di produrre un'uscita

$$v_{out} = (v_a + 2v_b - 3v_c)/3$$



## Esercizio 55



Il progetto può essere sviluppato in molti modi, un esempio è mostrato in figura. I resistori  $R_b$  ed  $R_c$  vanno scelti in modo da avere i corretti rapporti di amplificazione. Il sommatore al secondo stadio divide per 3 la somma dei segnali in ingresso. Si noti che i resistori  $R$  (il cui valore numerico non è critico) sono fondamentali per disaccoppiare tra loro i 3 ingressi.

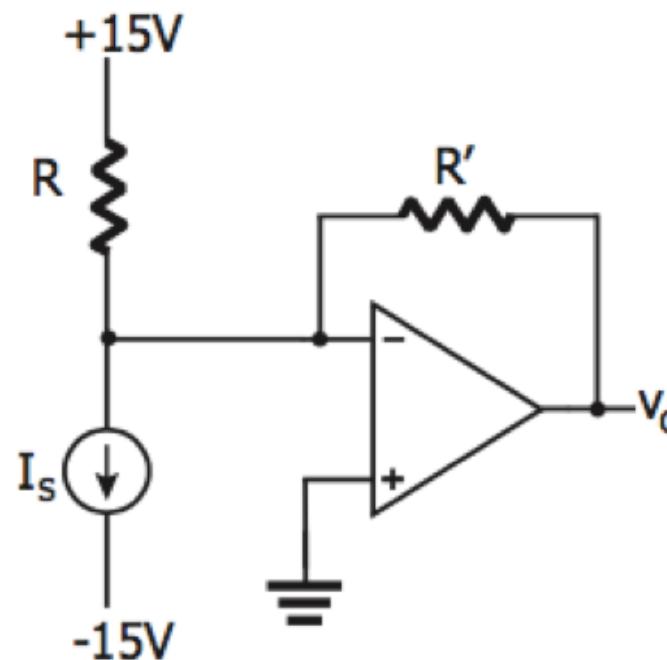
# Esercizio 8

## Esercizio 67

Il circuito in figura fornisce un'uscita di tensione linearmente dipendente dalla corrente  $I_s$  del generatore di corrente. Scegliere i valori di R ed R' in modo che risulti:

$$V_0 = 0V \text{ per } I_s = 50\mu A$$

$$V_0 = 5V \text{ per } I_s = 150\mu A$$



# Soluzione Esercizio 8

## Esercizio 67

Il circuito in figura fornisce un'uscita di tensione linearmente dipendente dalla corrente  $I_s$  del generatore di corrente. Scegliere i valori di  $R$  ed  $R'$  in modo che risulti:

$$V_0 = 0V \text{ per } I_s = 50\mu A$$

$$V_0 = 5V \text{ per } I_s = 150\mu A$$

## Esercizio 67

Entrambi i morsetti di ingresso sono a tensione zero. Possiamo scrivere l'equazione del nodo

$$\frac{15}{R} = I_s - \frac{v_o}{R'}$$

cioè'

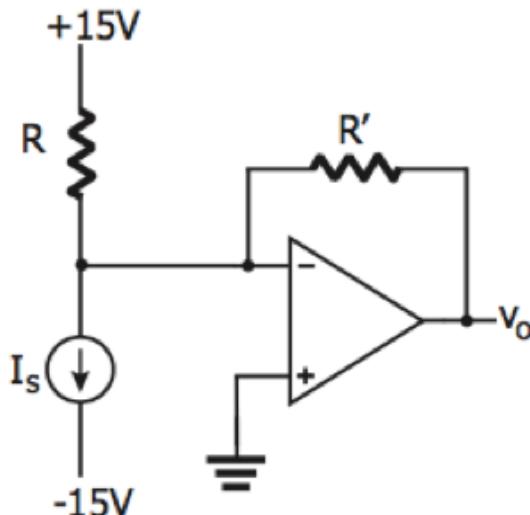
$$v_o = R'I_s - 15 \frac{R'}{R}$$

Imponendo le due condizioni richieste nel testo

$$(150\mu A)R' - 15 \frac{R'}{R} = 5$$

$$(50\mu A)R' - 15 \frac{R'}{R} = 0$$

Si trova facilmente la soluzione:  $R' = 50k$  e  $R = 300k$ .



# Esercizio 9

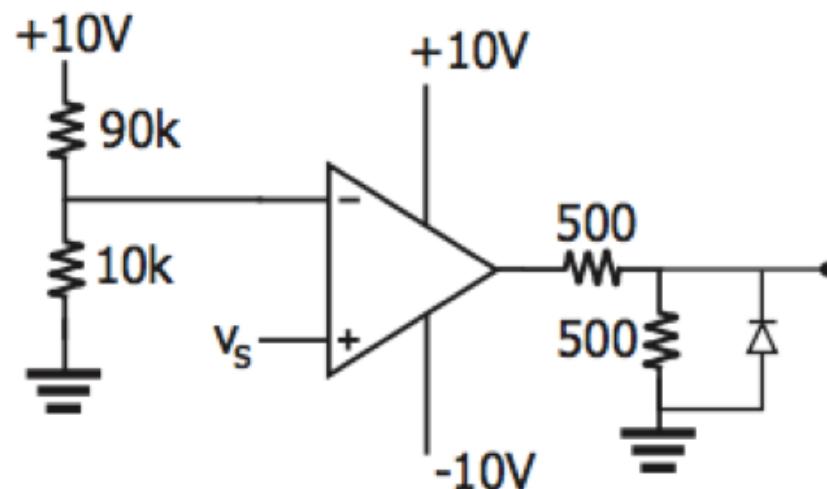
## Esercizio 68

Un generatore fornisce un segnale  $v_s$  di ampiezza variabile. Progettare con un amplificatore operazionale un comparatore in grado di fornire un'uscita di +5V quando  $v_s > +1V$ , e un'uscita di 0 V altrimenti. Si hanno a disposizione due alimentatori rispettivamente da +10V e -10V.

# Soluzione Esercizio 9

## Esercizio 68

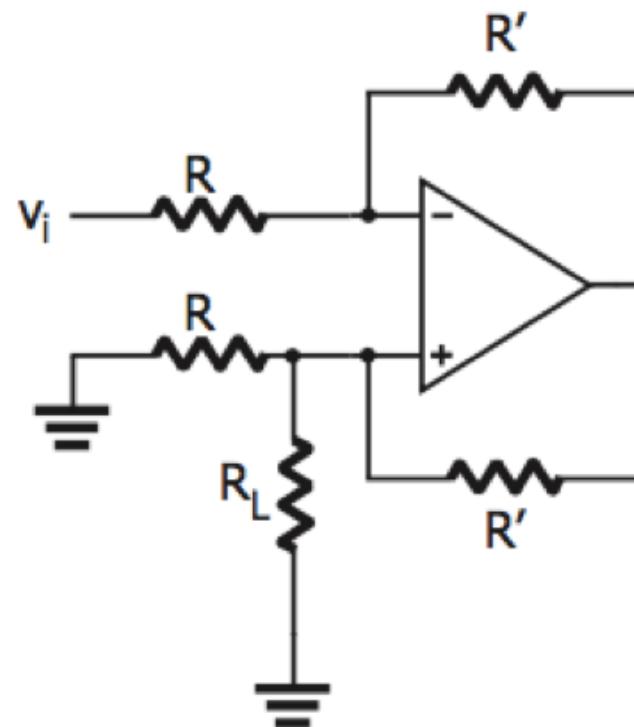
Un generatore fornisce un segnale  $v_s$  di ampiezza variabile. Progettare con un amplificatore operazionale un comparatore in grado di fornire un'uscita di +5V quando  $v_s > +1V$ , e un'uscita di 0 V altrimenti. Si hanno a disposizione due alimentatori rispettivamente da +10V e -10V.



# Esercizio 10

## Esercizio 74

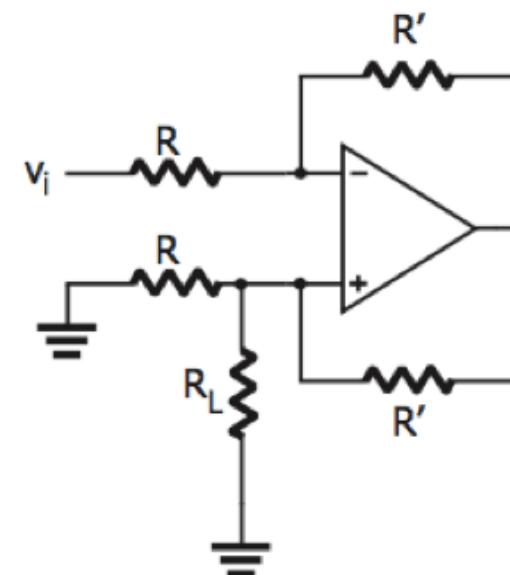
Dimostrare, nel circuito in figura, che la corrente  $I_L$ , circolante nel resistore  $R_L$ , è proporzionale alla tensione d'ingresso  $v_i$ .



# Soluzione Esercizio 10

## Esercizio 74

Dimostrare, nel circuito in figura, che la corrente  $I_L$ , circolante nel resistore  $R_L$ , è proporzionale alla tensione d'ingresso  $v_i$ .



## Esercizio 74

L'esercizio si risolve come al solito, assumendo le regole 'auree' di un operazionale. La corrente che entra negli ingressi è trascurabile; i due ingressi sono alla stessa tensione. Scrivendo le due equazioni dei nodi di ingresso e combinandole si ottiene facilmente:

$$I_L = \frac{v_i}{R}$$

$$I_L = -\frac{V_i}{R}$$

naturalmente questo risultato assume la perfetta ugualianza delle due resistenze  $R$  tra loro e delle due resistenze  $R'$  tra loro.

# Esercizio 12

## Esercizio 79

Il guadagno di tensione ad anello aperto ( in continua) di un amplificatore operazionale compensato internamente viene misurato e si trova il valore di 80 dB. A 100 kHz si trova invece il valore di 40 dB. Stimare il valore della frequenza di taglio di questo amplificatore.

# Soluzione Esercizio 12

## Esercizio 79

Il guadagno di tensione ad anello aperto ( in continua) di un amplificatore operazionale compensato internamente viene misurato e si trova il valore di 80 dB. A 100 kHz si trova invece il valore di 40 dB. Stimare il valore della frequenza di taglio di questo amplificatore.

## Esercizio 79

Ricordiamo che il prodotto guadagno  $\times$  banda deve essere costante.

Pertanto si deve avere:

$$f_t \times A(0) = f(100\text{kHz}) \times A(100\text{kHz})$$

Dai dati del problema si ricava allora  $f_t = 1\text{kHz}$ .

# Esercizio 13

## Esercizio 91

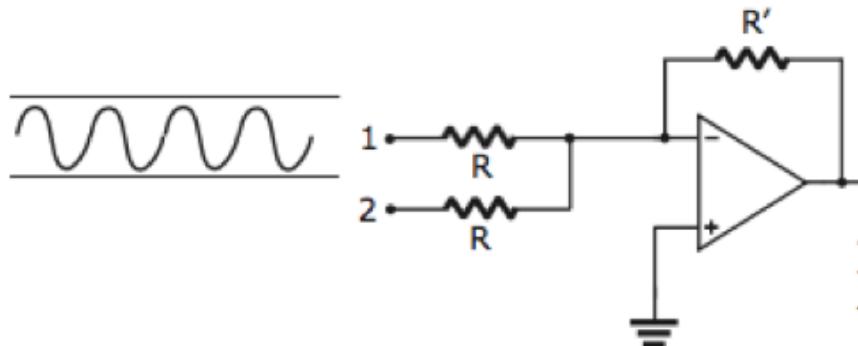
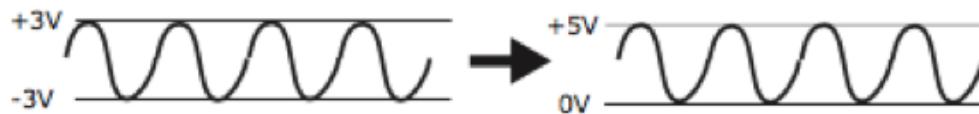
Costruire un circuito (con un amplificatore operazionale ideale) che, partendo da un'onda sinusoidale di  $6\text{ V}$  picco picco, con valor medio nullo, generi un'onda sinusoidale di  $5\text{ V}$ , picco picco, con valor medio  $2.5\text{ V}$ .



# Soluzione Esercizio 13

## Esercizio 91

Costruire un circuito (con un amplificatore operazionale ideale) che, partendo da un'onda sinusoidale di 6 V picco picco, con valor medio nullo, generi un'onda sinusoidale di 5 V, picco picco, con valor medio 2.5 V.



Il problema puo' essere risolto con un sommatore invertente, come in figura. Ad un'ingresso si invia l'onda sinusoidale, all'altro una tensione costante  $V_2 = -3 \text{ V}$ . Si scelgono poi dei resistori con

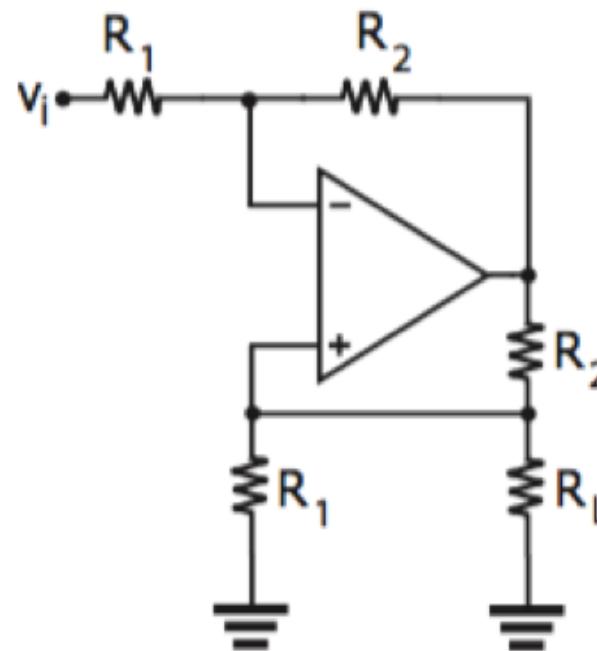
$$\frac{R'}{R} = \frac{5}{6}$$

in modo da avere in uscita il corretto valore di tensione.

# Esercizio 14

## Esercizio 90

Trovare la relazione che lega la corrente che circola nel resistore  $R_L$  alla tensione  $v_i$  (assumendo che i resistori con eguale nome siano identici tra loro e che l'operazionale utilizzato sia ideale).



# Soluzione Esercizio 14

## Esercizio 90

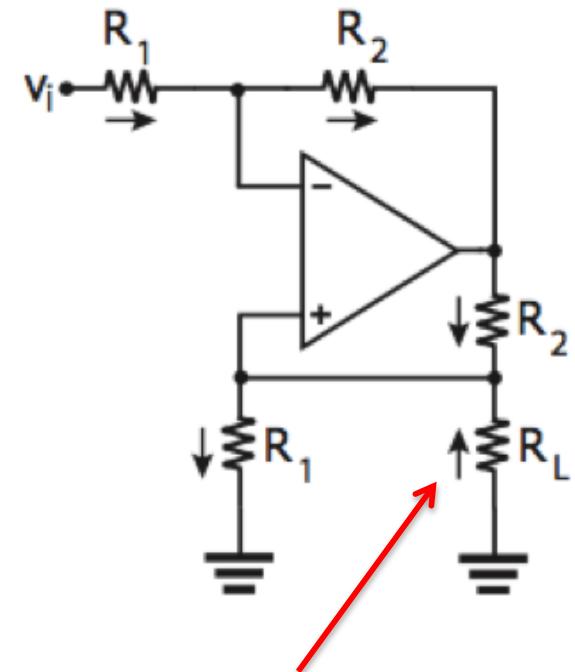
Con riferimento ai versi delle correnti scelti nella figura (tenendo conto delle consuete regole auree dell'operazionale ideale) possiamo scrivere:

$$\frac{v_i - v}{R_1} = \frac{v - v_o}{R_2}$$

$$\frac{v_o - v}{R_2} = \frac{v}{R_1} + i_L$$

dove  $V$  e' la tensione (uguale) dei due ingressi dell'operazionale. Combinando queste due relazioni si ottiene facilmente

$$I_L = \frac{v_i}{R_1}$$



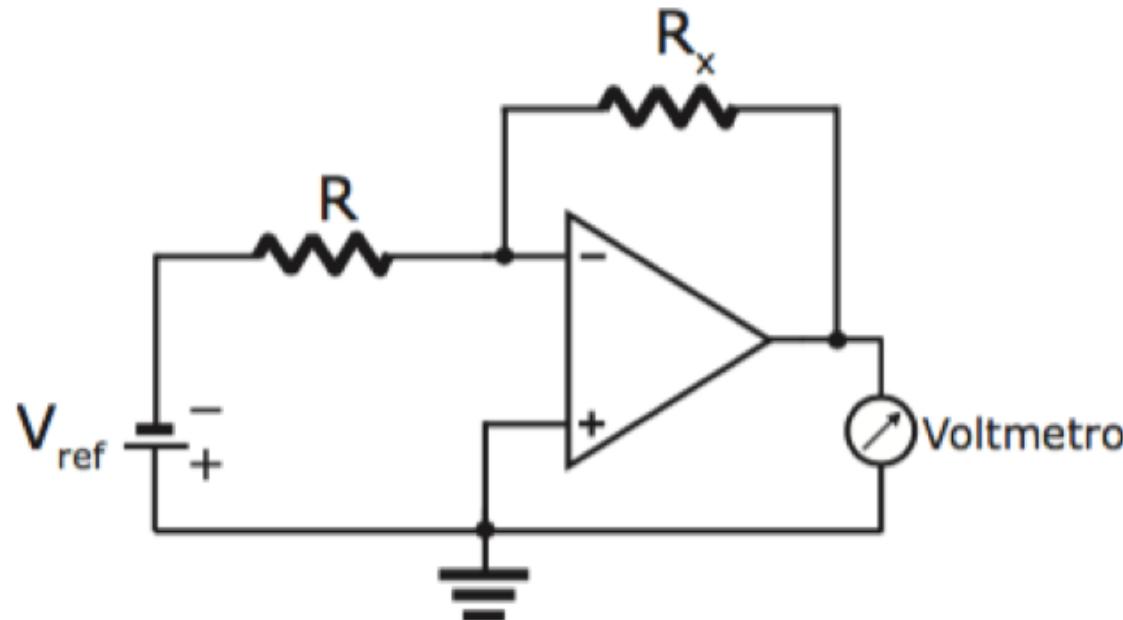
Il verso di questa corrente e' al contrario rispetto all'equazione, dovrebbe andare verso massa.

Dopo aver risolto l'equazione risulta negativa, quindi va come e' riportato sul disegno

# Esercizio 15

## Esercizio 92

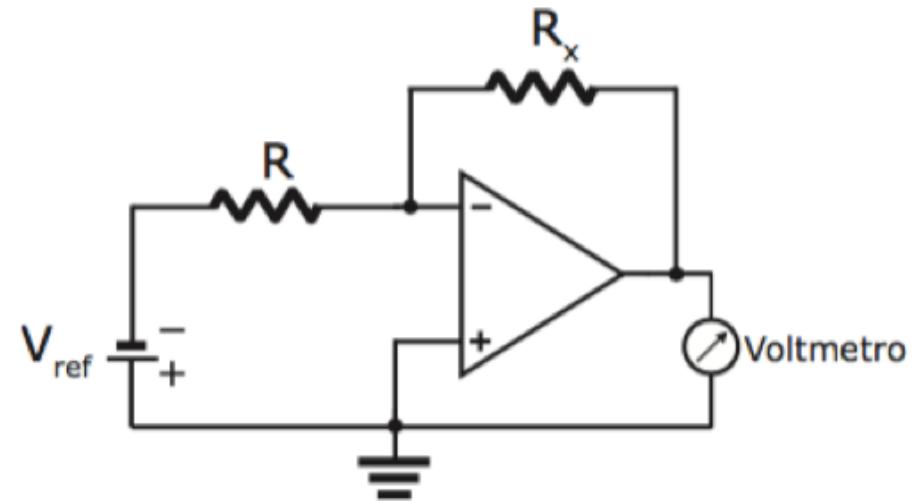
Il circuito in figura rappresenta un ohmetro, con cui e' possibile misurare la resistenza  $R_x$ : la tensione letta sul voltmetro (che ha un fondo scala di 1 V) e' infatti proporzionale ad  $R_x$ . Dato  $V_{ref} = -10 V$  completare il progetto determinando il valore di  $R$  in modo che sia possibile misurare resistenze fino ad un valore massimo  $10 k\Omega$ . Si supponga ideale l'amplificatore operazionale.



# Soluzione esercizio 15

## Esercizio 92

Il circuito in figura rappresenta un ohmetro, con cui è possibile misurare la resistenza  $R_x$ : la tensione letta sul voltmetro (che ha un fondo scala di 1 V) è infatti proporzionale ad  $R_x$ . Dato  $V_{ref} = -10 \text{ V}$  completare il progetto determinando il valore di  $R$  in modo che sia possibile misurare resistenze fino ad un valore massimo  $10 \text{ k}\Omega$ . Si supponga ideale l'amplificatore operazionale.



## Esercizio 92

La tensione d'uscita è data da

$$V_o = \frac{R_x}{R} V_{ref}$$

Si deve quindi scegliere  $R = 100 \text{ k}\Omega$ .

# Esercizio 16

## Esercizio 98

Calcolare l'amplificazione di tensione del circuito in figura.

Valori:

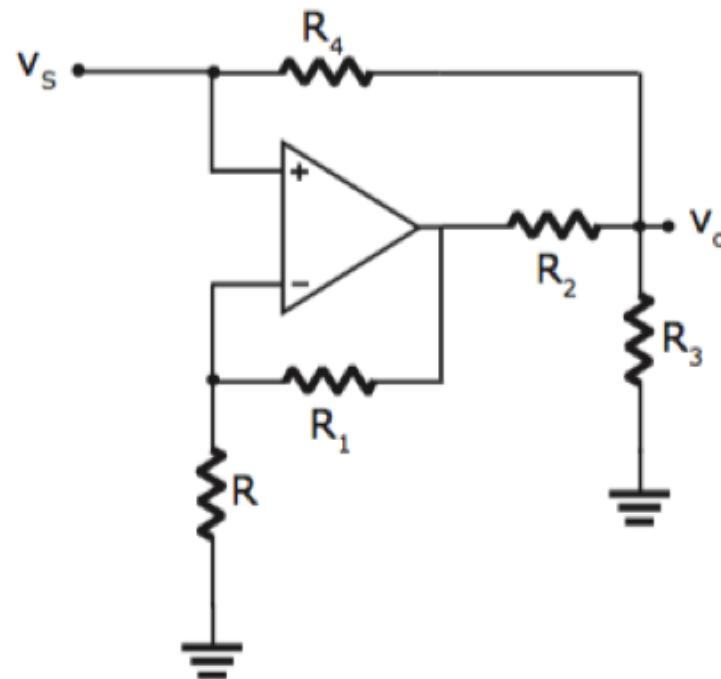
$$R = 2.5k$$

$$R_1 = 22.5k$$

$$R_2 = 2k$$

$$R_3 = 4k$$

$$R_4 = 0.5k$$



# Soluzione esercizio 16

## Esercizio 98

Calcolare l'amplificazione di tensione del circuito in figura.

Valori:

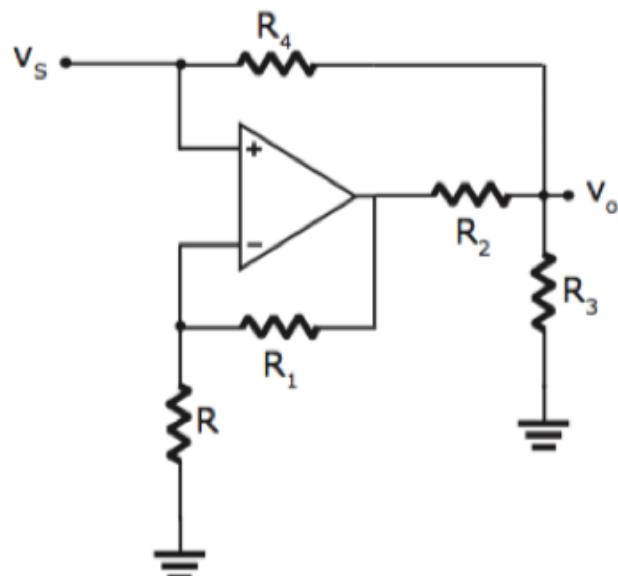
$$R = 2.5k$$

$$R_1 = 22.5k$$

$$R_2 = 2k$$

$$R_3 = 4k$$

$$R_4 = 0.5k$$



## Esercizio 98

Indicando con  $v'_o$  la tensione all'uscita dell'operazionale, si ha, dal morsetto invertente:

$$\frac{v_s}{R} = \frac{v'_o - v_s}{R_1}$$

E si ricava quindi

$$v'_o = v_s \left(1 + \frac{R_1}{R}\right)$$

Dal nodo di uscita si può scrivere

$$\frac{v_s - v_o}{R_4} = \frac{v_o - v'_o}{R_2} + \frac{v_o}{R_3}$$

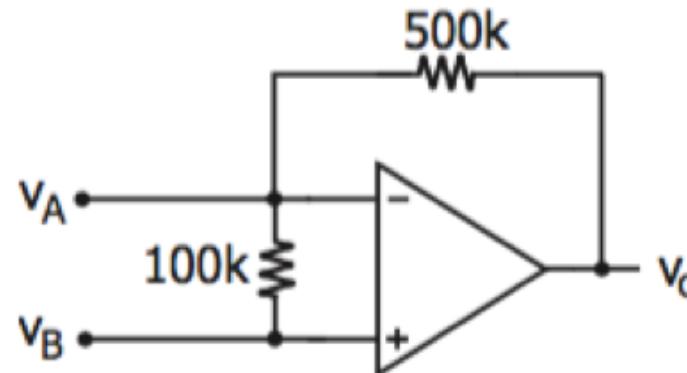
Combinando queste due relazioni si ottiene facilmente

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2} \left(1 + \frac{R_1}{R}\right)}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}} \simeq 2.55 \quad \boxed{2.64?}$$

# Esercizio 17

## Esercizio 63

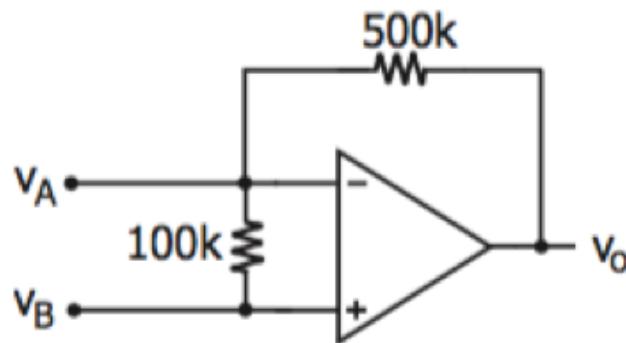
L'amplificatore in figura è alimentato con +12 e -12 V. All'ingresso A si applica una tensione costante pari a +1 V, mentre all'ingresso B si applica un'onda rettangolare con valore medio nullo e semi ampiezza 0.5 V. Qual è la forma d'onda del segnale d'uscita?



# Soluzione esercizio 17

## Esercizio 63

L'amplificatore in figura è alimentato con +12 e -12 V. All'ingresso A si applica una tensione costante pari a +1 V, mentre all'ingresso B si applica un'onda rettangolare con valore medio nullo e semi ampiezza 0.5 V. Qual è la forma d'onda del segnale d'uscita?



## Esercizio 63

La d.d.p. tra i due ingressi ( $V_+ - V_-$ ) è un'onda rettangolare con valore medio  $-1\text{V}$  e semi ampiezza  $0.5\text{V}$ . Pertanto l'uscita è sempre in saturazione a  $-12\text{V}$ . I resistori non giocano alcun ruolo in questo circuito.

# Esercizio 18

## Esercizio 77

Un generatore  $v_s$  fornisce una tensione di ampiezza variabile tra 0 e +10V. Con un amplificatore operazionale realizzare un comparatore in grado di fornire un'uscita di 0V quando  $v_s > +5V$  e un'uscita di +5V quando  $v_s < +5V$ .

# Soluzione esercizio 18

## Esercizio 77

Un generatore  $v_s$  fornisce una tensione di ampiezza variabile tra 0 e +10V. Con un amplificatore operazionale realizzare un comparatore in grado di fornire un'uscita di 0V quando  $v_s > +5V$  e un'uscita di +5V quando  $v_s < +5V$ .

## Esercizio 77

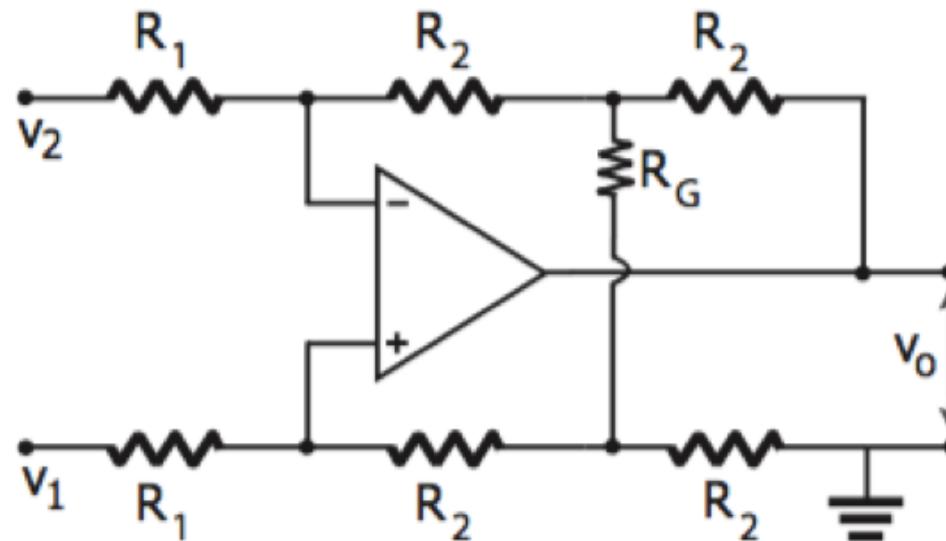
Questo esercizio può essere risolto in vari modi. Il più semplice prevede di utilizzare un operazionale tipo LM358 (capace cioè di funzionare con alimentazione singola) alimentato con 0V e +10V. Si invia il segnale  $v_s$  all'ingresso invertente, mentre l'ingresso non invertente è collegato a +5V. In questo modo si ha un'uscita di 0V quando  $v_s > +5V$  e di 10V quando  $v_s < +5V$ .

Un semplice partitore sull'uscita ci consentirà di riportare la tensione ai livelli desiderati.

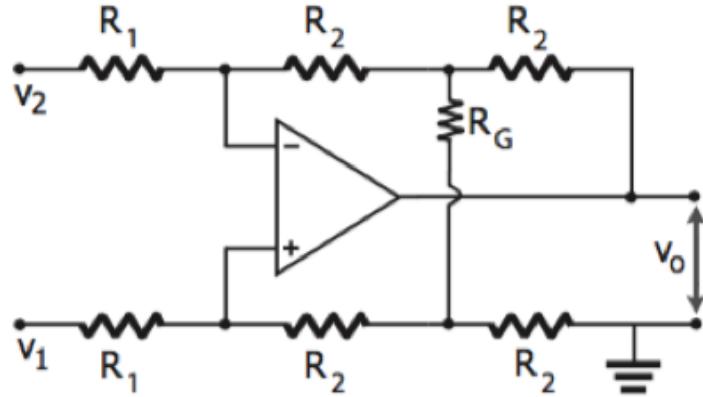
# Esercizio 19

## Esercizio 84

Calcolare il guadagno di tensione dell'amplificatore differenziale mostrato in figura (assumendo che i resistori con eguale nome siano identici tra loro e che l'operazionale utilizzato sia ideale).



# Soluzione esercizio 19



## Esercizio 84

Le equazioni dei due morsetti di ingresso sono

$$\begin{aligned}\frac{V_2 - V}{R_1} &= \frac{V - V_A}{R_2} \\ \frac{V_1 - V}{R_1} &= \frac{V - V_B}{R_2}\end{aligned}$$

dove  $V_A$  e  $V_B$  sono le tensioni dei nodi congiunti da  $R_G$ . Sottraendo membro a membro si ottiene

$$V_A - V_B = -\frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$

Le equazioni dei nodi  $A$  e  $B$  sono

$$\begin{aligned}\frac{V - V_A}{R_2} &= \frac{V_A - V_B}{R_G} - \frac{V_A - V_o}{R_2} \\ \frac{V - V_B}{R_2} &= -\frac{V_A - V_B}{R_G} + \frac{V_B}{R_2}\end{aligned}$$

Sottraendo membro a membro si ricava, con alcuni passaggi

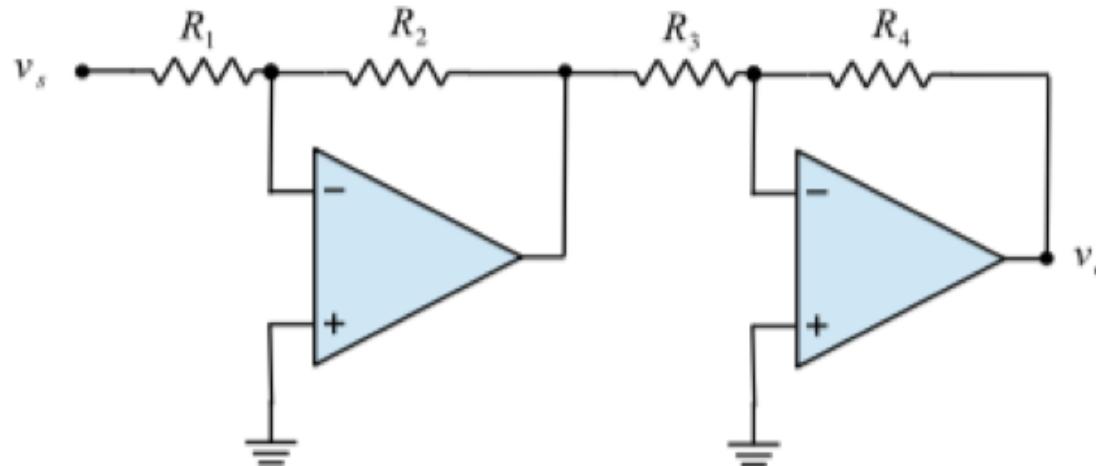
$$V_o = 2(1 + \frac{R_2}{R_G})(V_A - V_B)$$

Combinando i risultati ottenuti si ottiene infine

$$V_o = 2\frac{R_2}{R_1}(1 + \frac{R_2}{R_G})(V_1 - V_2)$$

# Esercizio 20

## Esercizio 114



L'uscita dell'amplificatore in figura viene inviata ad un carico  $R_L = 500 \Omega$ . Il segnale d'ingresso è sinusoidale,  $v_s = v_m \sin(2\pi ft)$ , con ampiezza  $v_m = 100 mV$  e frequenza  $f = 1 kHz$ . Calcolare la tensione massima ai capi del carico e la corrente massima che vi scorre.

Valori:

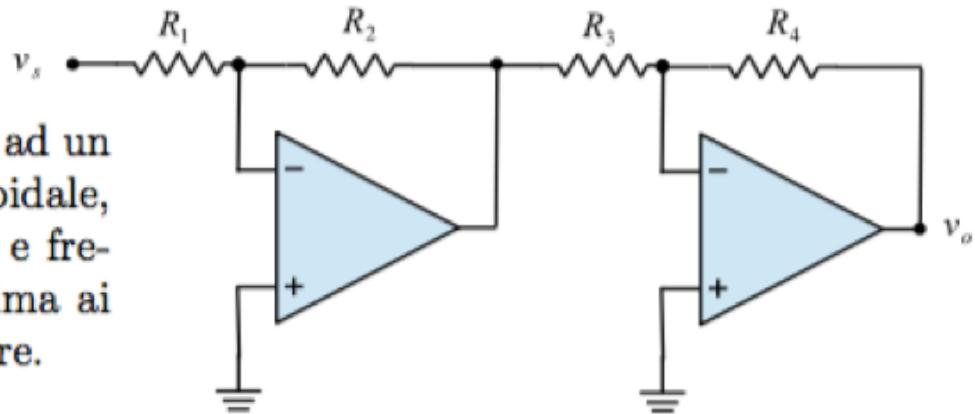
$$R_1 = 1k \quad R_2 = 10k \quad R_3 = 1k \quad R_4 = 10k$$

# Soluzione esercizio 20

L'uscita dell'amplificatore in figura viene inviata ad un carico  $R_L = 500 \Omega$ . Il segnale d'ingresso è sinusoidale,  $v_s = v_m \sin(2\pi ft)$ , con ampiezza  $v_m = 100 mV$  e frequenza  $f = 1 kHz$ . Calcolare la tensione massima ai capi del carico e la corrente massima che vi scorre.

Valori:

$$R_1 = 1k \quad R_2 = 10k \quad R_3 = 1k \quad R_4 = 10k$$



## Esercizio 114

I due stadi hanno la stessa amplificazione,  $A_1 = A_2 = -10$ . L'amplificazione complessiva e' quindi

$$A = A_1 \times A_2 = 100$$

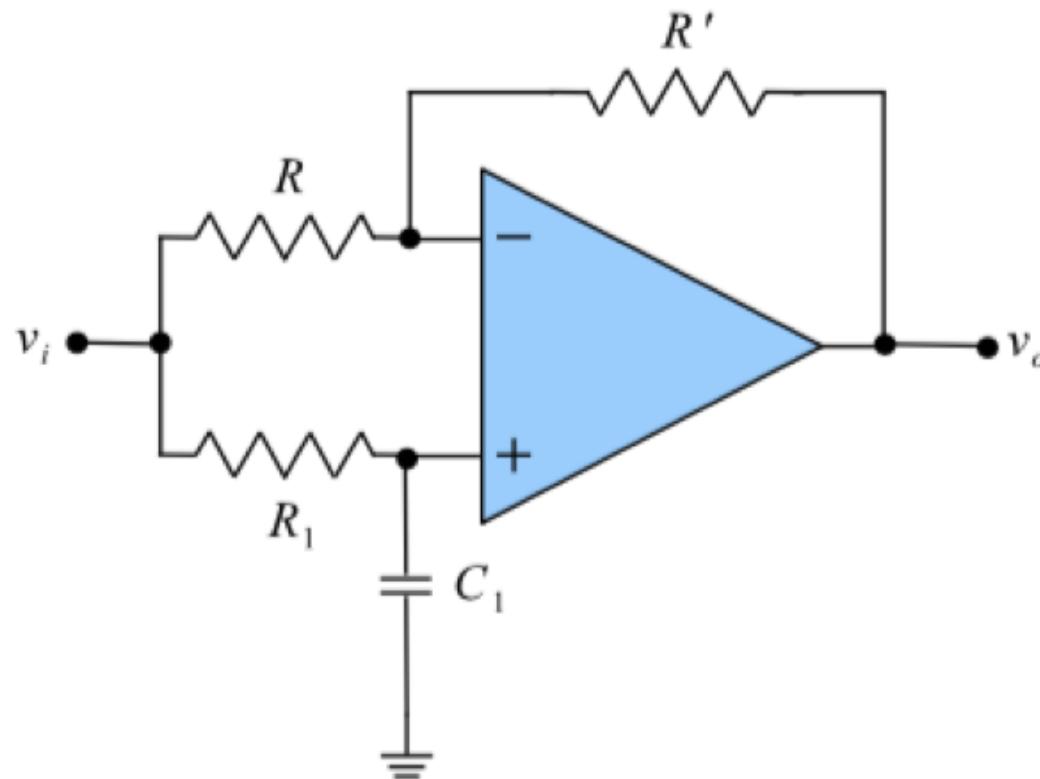
Pertanto la tensione d'uscita e' data da  $v_o = Av_m \sin(2\pi ft)$ , con un massimo  $v_{omax} = 10 V$ . La corrente massima e' infine data da  $v_{omax}/R_L = 20 mA$ .

# Esercizio 21

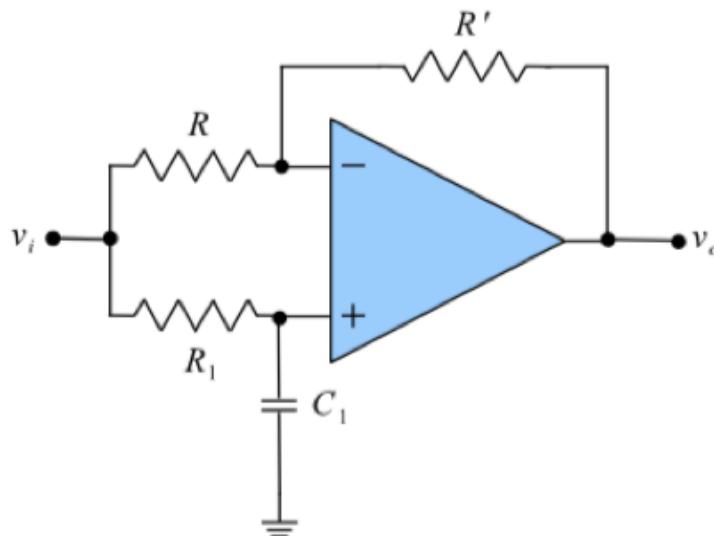
## Esercizio 107

Scrivere l'espressione dell'amplificazione di tensione,  $A_v$ , per l'amplificatore in figura. Trovare i valori asintotici di  $A_v$  per  $\omega \rightarrow 0$  e  $\omega \rightarrow \infty$ .

L'operazionale può essere considerato ideale.



# Soluzione esercizio 21



## Esercizio 107

I due ingressi dell'operazionale sono alla stessa tensione,  $v$ , che può essere calcolata al morsetto positivo, ovvero

$$v = \frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} v_i = \frac{1}{1 + j\omega C_1 R_1} v_i$$

Al morsetto negativo abbiamo

$$\frac{v_i - v}{R} = \frac{v - v_o}{R'}$$

Combinando le due relazioni si arriva a:

$$A_v = -\frac{R'}{R} + \frac{1}{1 + j\omega C_1 R_1} \left(1 + \frac{R'}{R}\right)$$

Per  $\omega \rightarrow 0$  si ha  $A_v = 1$ . Per  $\omega \rightarrow \infty$  si ha  $A_v = -R'/R$ .



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine esercitazione 2