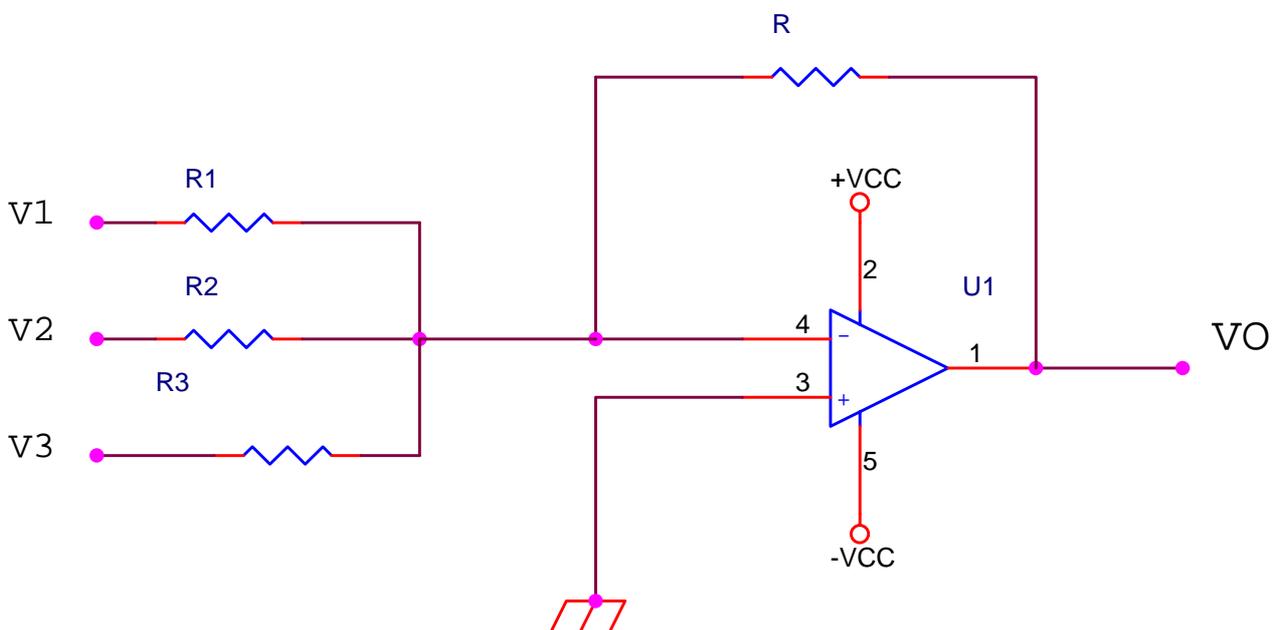


ALTRI CIRCUITI CON OPERAZIONALI

Sommatore invertente	1
Sommatore non invertente	3
Amplificatore differenziale	7
Buffer	11

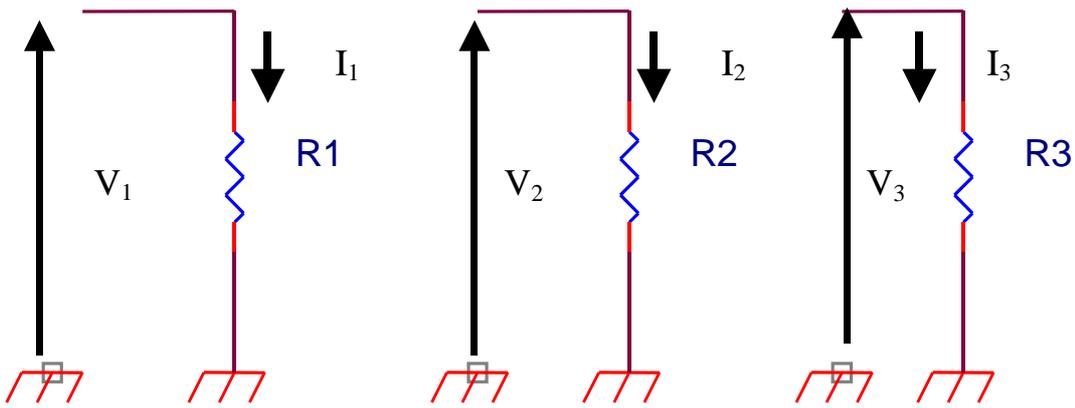
Altri circuiti con operazionali

Sommatore invertente



Con questo circuito possiamo ottenere in uscita un segnale che sia la combinazione lineare dei segnali d'ingresso. Con una opportuna scelta dei valori dei resistori avremmo in uscita, a meno del segno, la somma dei segnali di ingresso da cui il nome di tale configurazione. Nell'esempio di figura abbiamo un sommatore con tre ingressi. IL discorso che andremo a fare ora vale per un numero qualsiasi di ingressi.

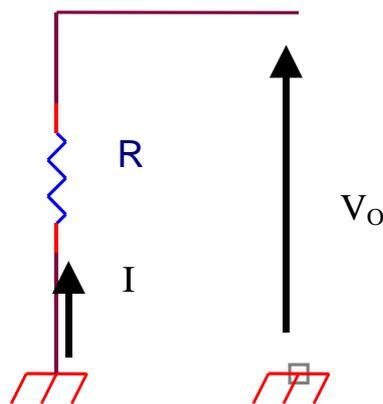
Analizziamo il circuito usando le due ipotesi semplificative dell'operazionale ideale. L'ipotesi dell' A_{VO} infinita porta come al solito a dedurre che il morsetto 4 si trova a massa virtuale. Dal punto di vista delle tensioni possiamo allora disegnare tutte le resistenze d'ingresso in questo modo



da cui, applicando i principi della meccanica relativistica e gli ultimi risultati degli studi sulle superstringhe, si ha

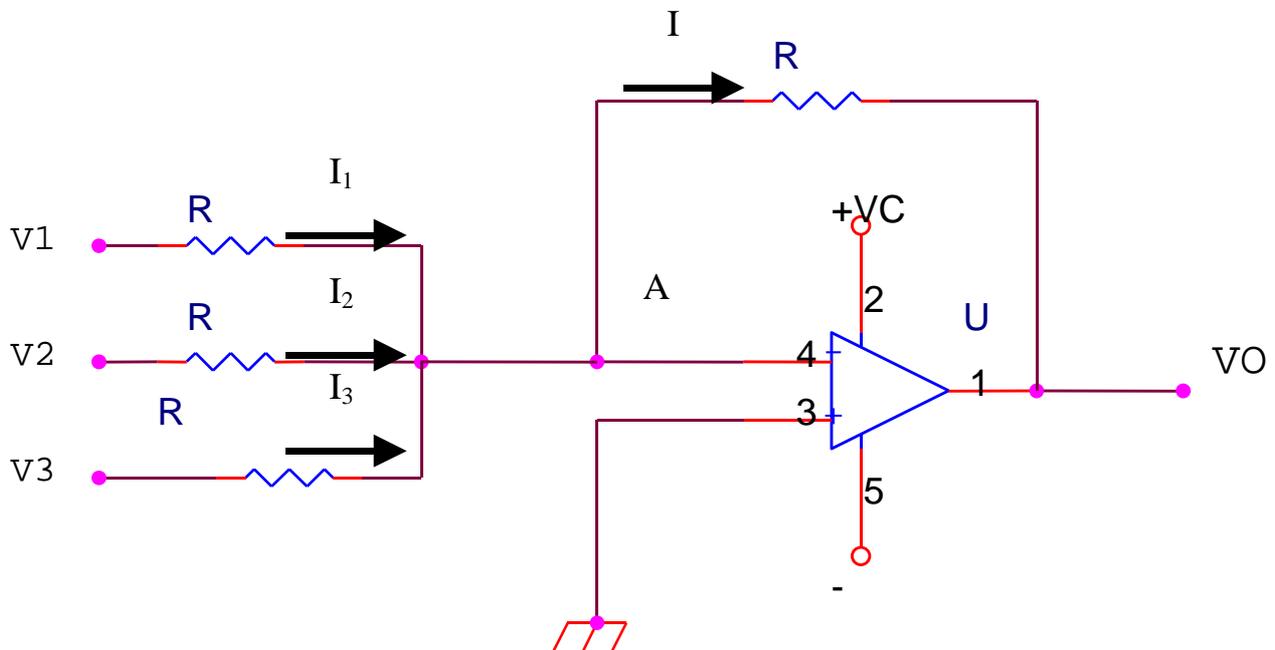
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

Lo stesso discorso si può fare per la resistenza di retroazione, collegata con un morsetto a massa e l'altro alla tensione di uscita



Ora ricordiamo che, in questo disegno abbiamo che i versi convenzionali di corrente e tensione da noi scelti, sono uguali, per cui dobbiamo scrivere

$$I = -\frac{V_o}{R}$$



Applicando il primo principio di Kirchhoff al nodo A si ha

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow -\frac{V_o}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \Rightarrow V_o = -\left(\frac{R}{R_1}V_1 + \frac{R}{R_2}V_2 + \frac{R}{R_3}V_3\right)$$

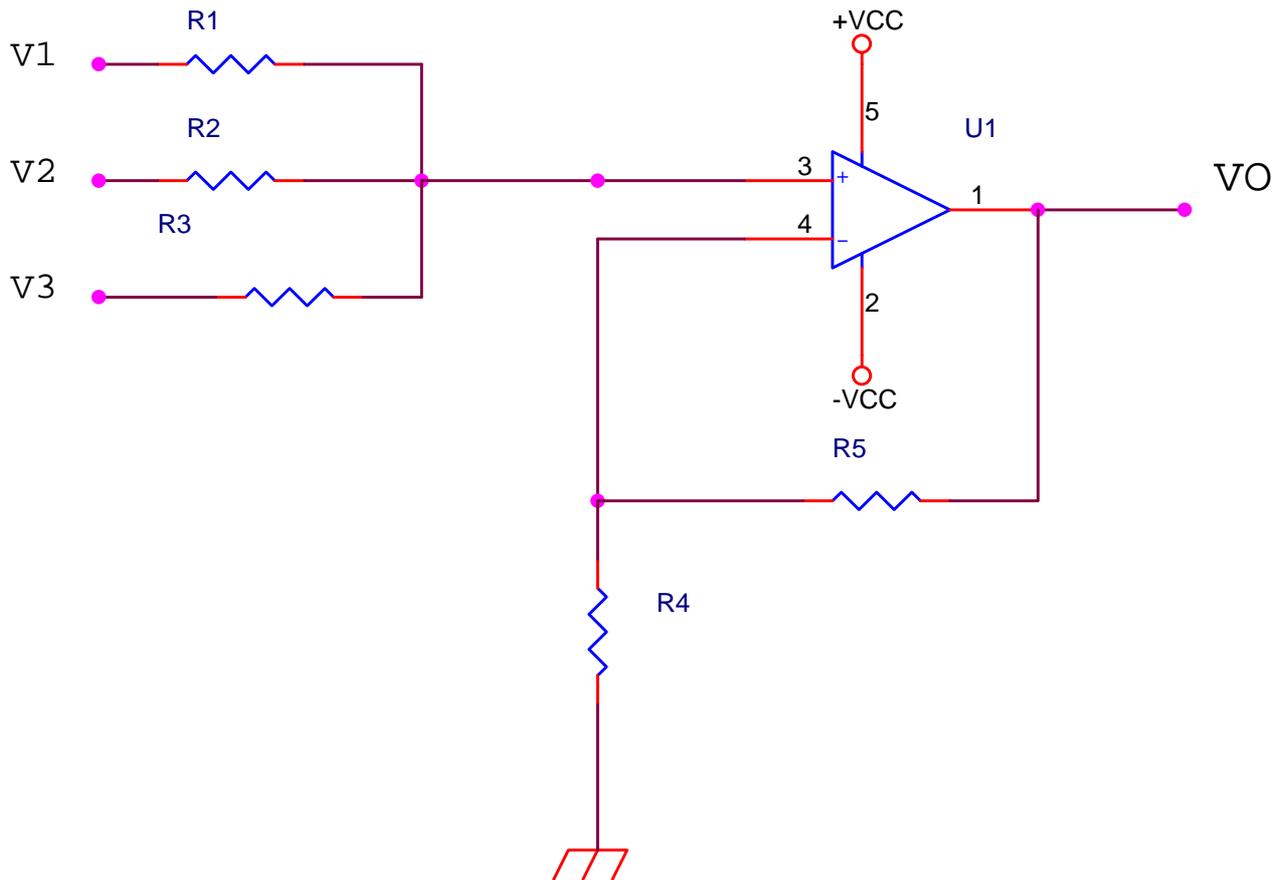
Se le resistenze sono tutte uguali

$$V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

il segnale di uscita, a meno del segno, è la somma dei segnali d'ingresso.

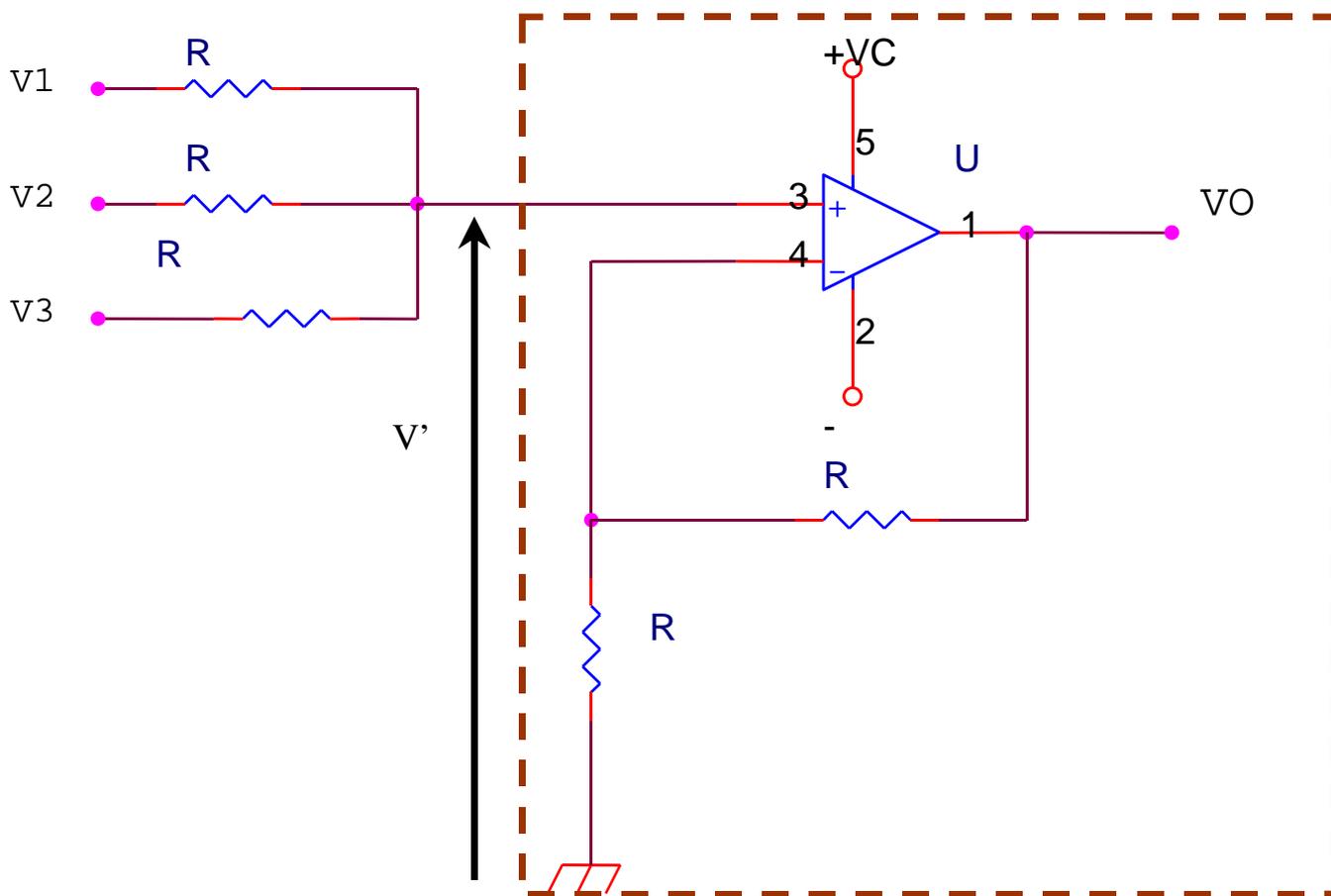
Sommatore non invertente

Vediamo ora un circuito analogo a quello precedente negli effetti, ma che non introduce lo sfasamento di 180°, non inverte il segnale



Anche in questo caso abbiamo tre segnali di ingresso solo come esempio.

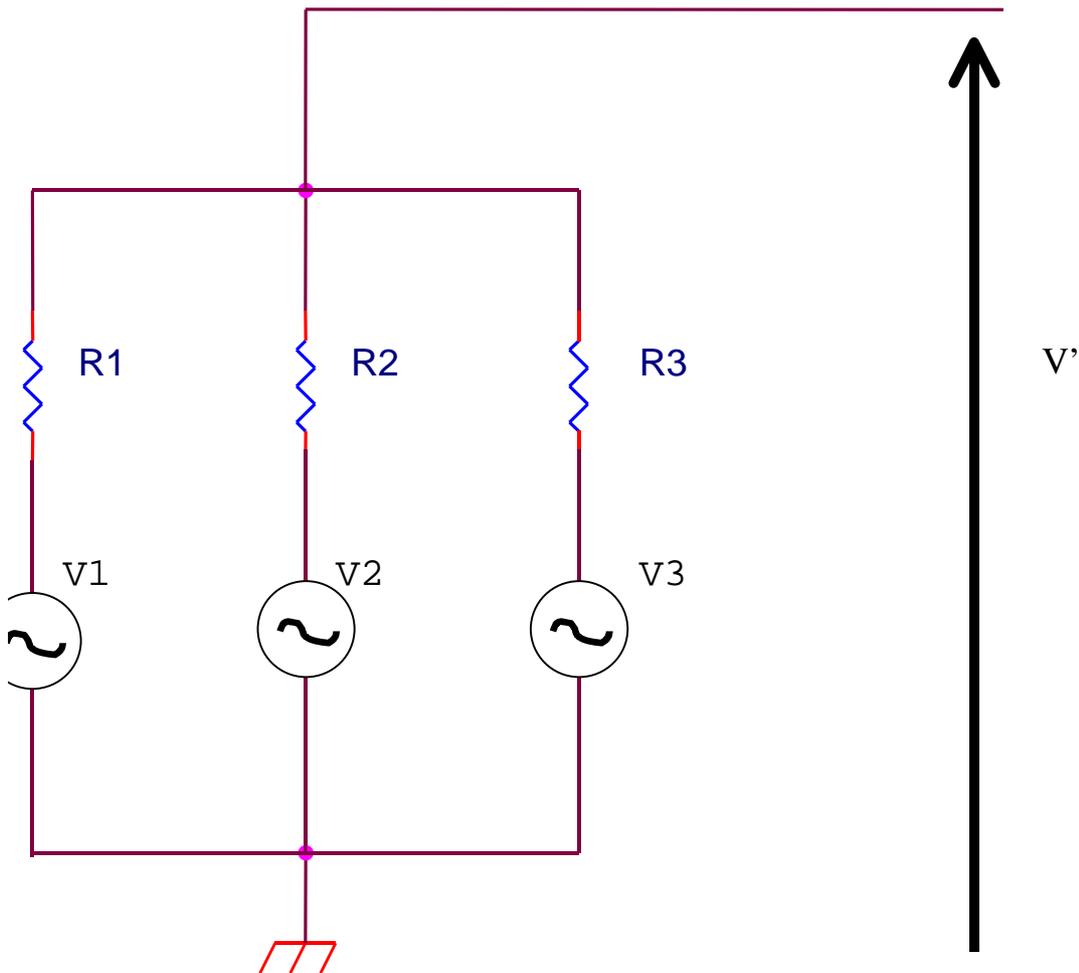
Per ricavare il legame fra ingresso e uscita dobbiamo notare che



la parte di circuito racchiusa nel riquadro costituisce un normale amplificatore in configurazione non invertente che amplifica la tensione V' . Dunque si ha

$$V_o = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right)V'$$

Dobbiamo solo ricavare il legame fra V' e le tensioni d'ingresso. La situazione è la seguente



Abbiamo tre rami in parallelo ciascuno dei quali è costituito dalla serie di una resistenza e un generatore di tensione. Ora per ricavare la tensione V' occorre applicare il teorema di Millmann

$$V' = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

In definitiva abbiamo

$$V_o = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

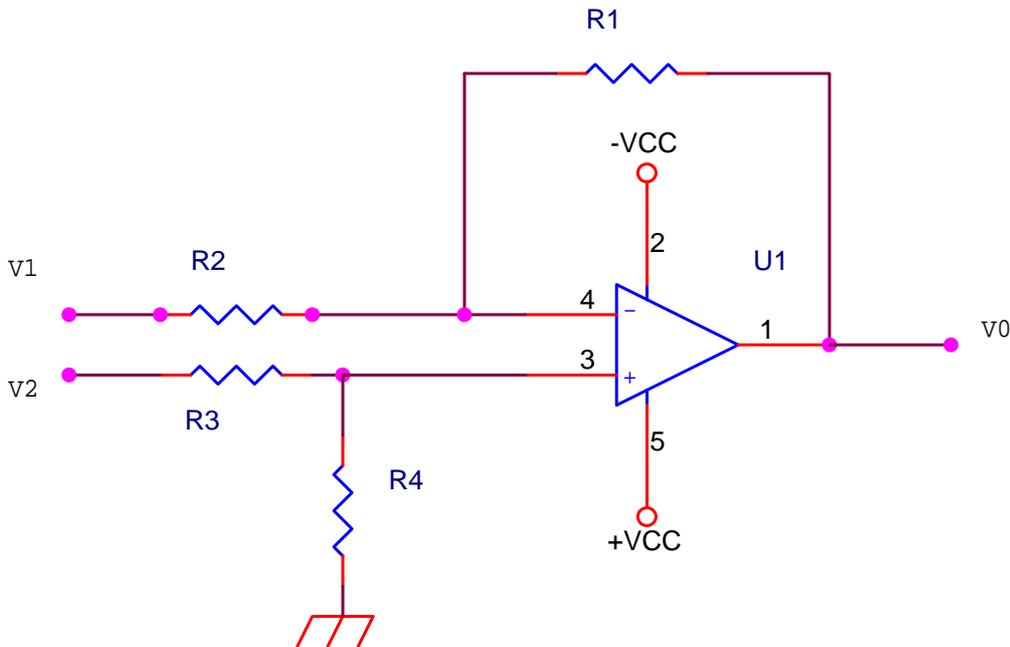
Per fare in modo che la tensione di uscita sia esattamente pari alla somma delle tensioni di ingresso cominciamo col porre $R_1=R_2=R_3=R$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \frac{\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} + \frac{V_3}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \frac{1}{\frac{3}{R}} (V_1 + V_2 + V_3) = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{3}$$

in questo particolare circuito dobbiamo porre ora $R_5=2R_4$ in modo che il loro rapporto sia uguale a due e si abbia

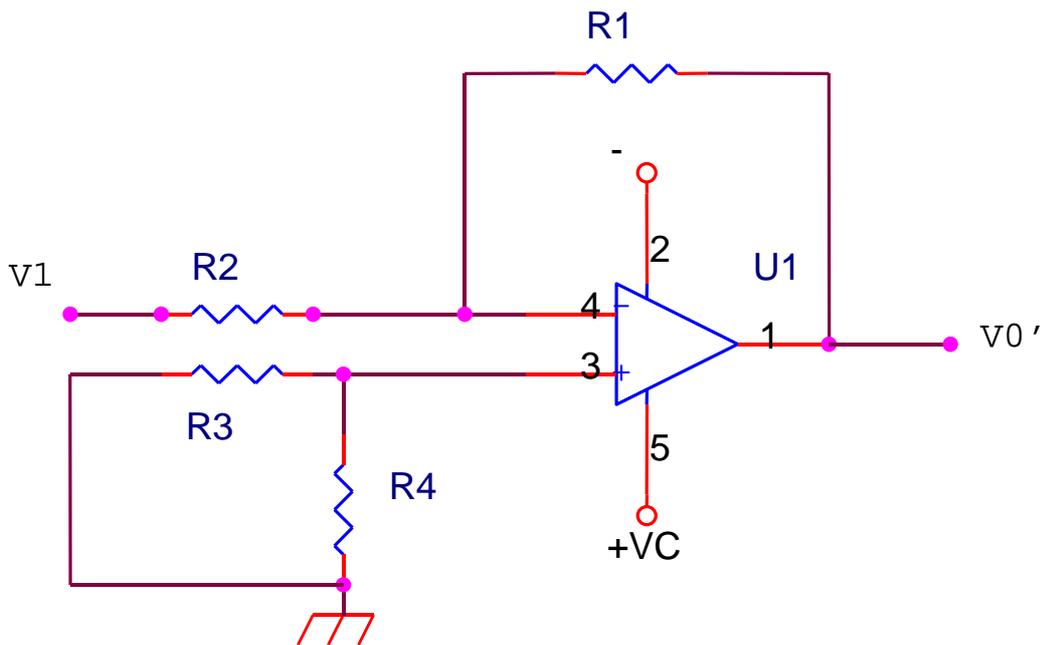
$$V_o = (1+2) \frac{(V_1+V_2+V_3)}{3} = (3) \frac{(V_1+V_2+V_3)}{3} = V_1+V_2+V_3$$

Amplificatore differenziale

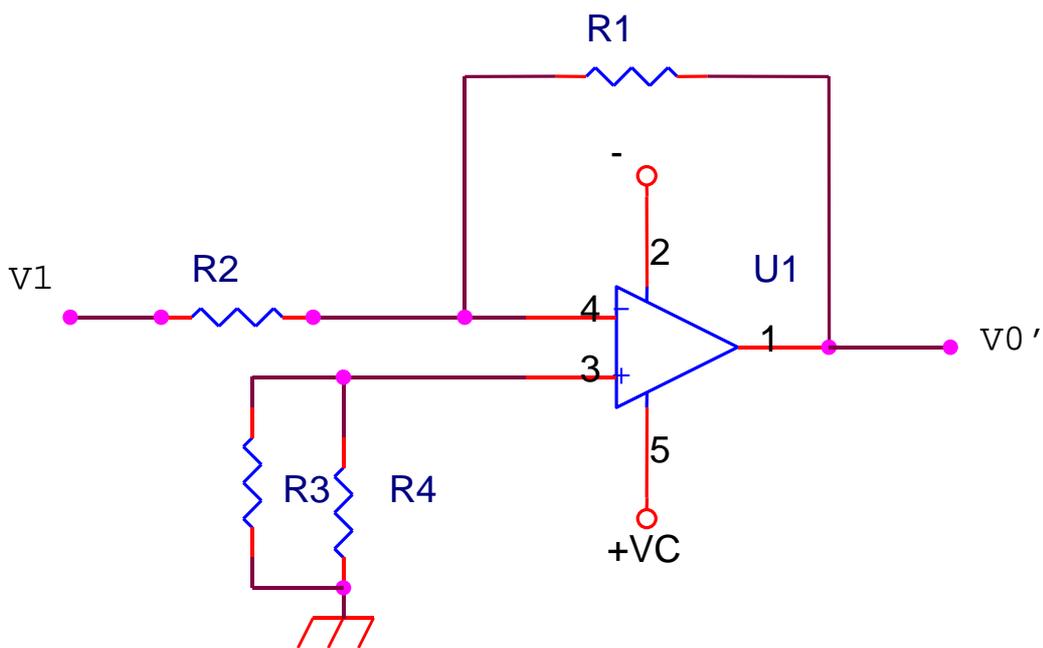


questo circuito fa in modo che la tensione di uscita sia proporzionale alla differenza fra le due tensioni di ingresso. Per studiare il legame ingresso-uscita, tenendo presente che ci troviamo di fronte ad un circuito lineare possiamo applicare il principio di sovrapposizione degli effetti.

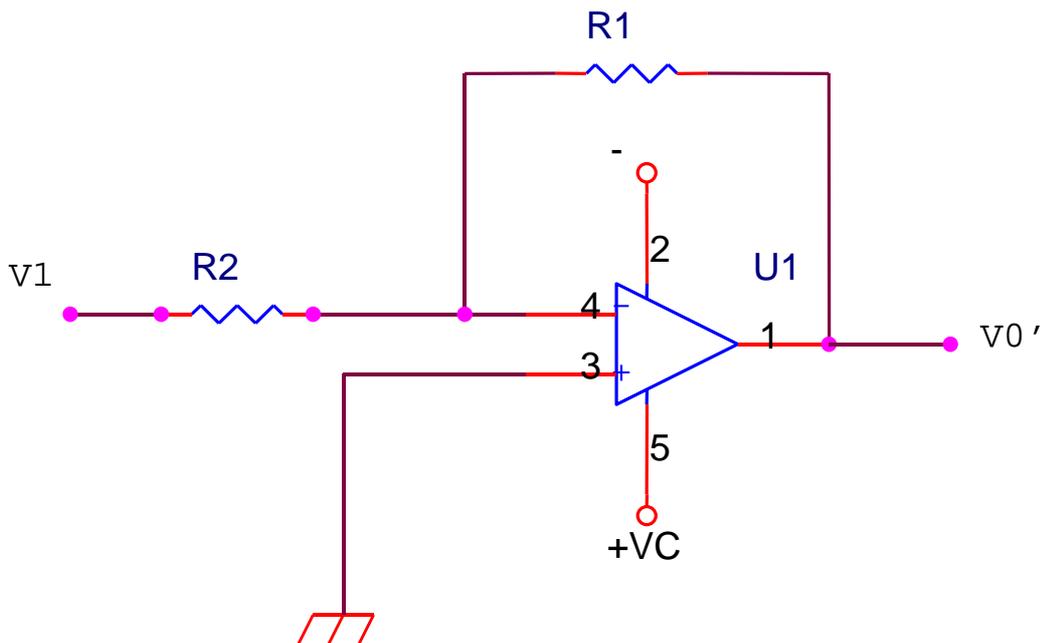
Poniamo inizialmente V_1 diverso da zero e V_2 uguale a zero e calcoliamo la V_o' in questo caso. Il morsetto di ingresso di V_2 va posto a massa



per cui il disegno diventa anche



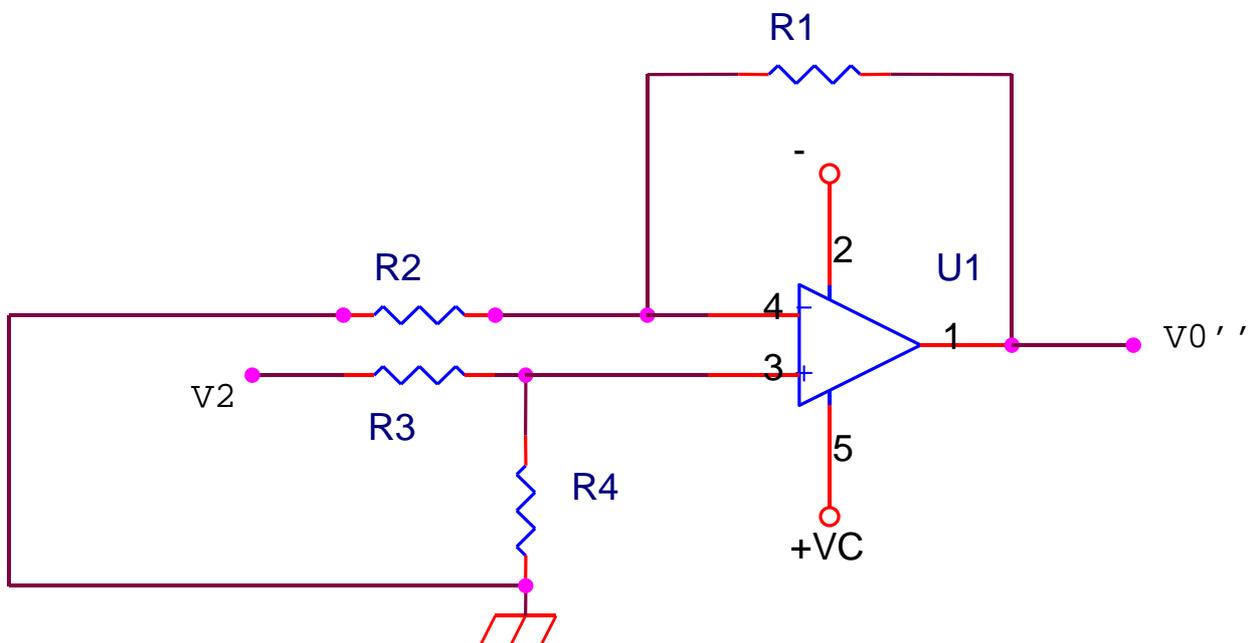
ma il parallelo fra R_3 ed R_4 si trova in serie con la resistenza d'ingresso dell'operazionale che è infinita per cui possiamo considerare nulla la sua influenza e abbiamo il seguente circuito



che costituisce un amplificatore in configurazione invertente. In definitiva

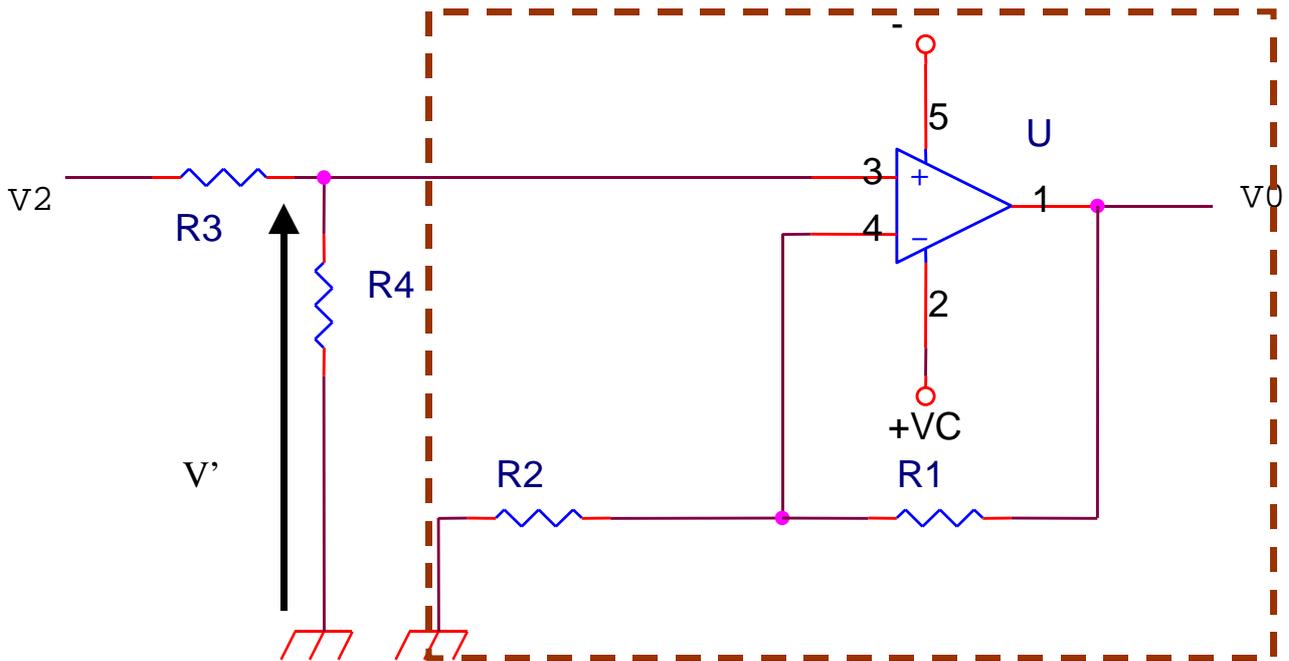
$$V_o' = -\frac{R_1}{R_2} V_1$$

Poniamo ora V_1 uguale a zero e V_2 diverso da zero.



capovolgiamo il circuito

Notiamo che ora siamo di fronte ad un circuito amplificatore non invertente che amplifica non la V_2 ma la tensione ai capi di R_4



abbiamo allora

$$V_o'' = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V' = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti ben noto a tutti i premi Nobel della IV A abbiamo

$$V_o = V_o' + V_o'' = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 - \frac{R_1}{R_2} V_1$$

se poniamo $R_1 = R_2$ abbiamo

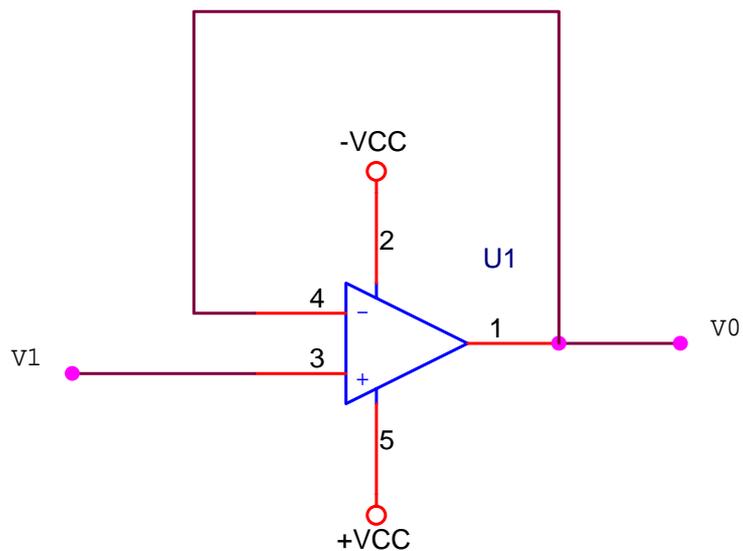
$$V_o = V_o' + V_o'' = (1 + 1) \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 - V_1 = 2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 - V_1$$

Se poniamo $R_3 = R_4$, otteniamo

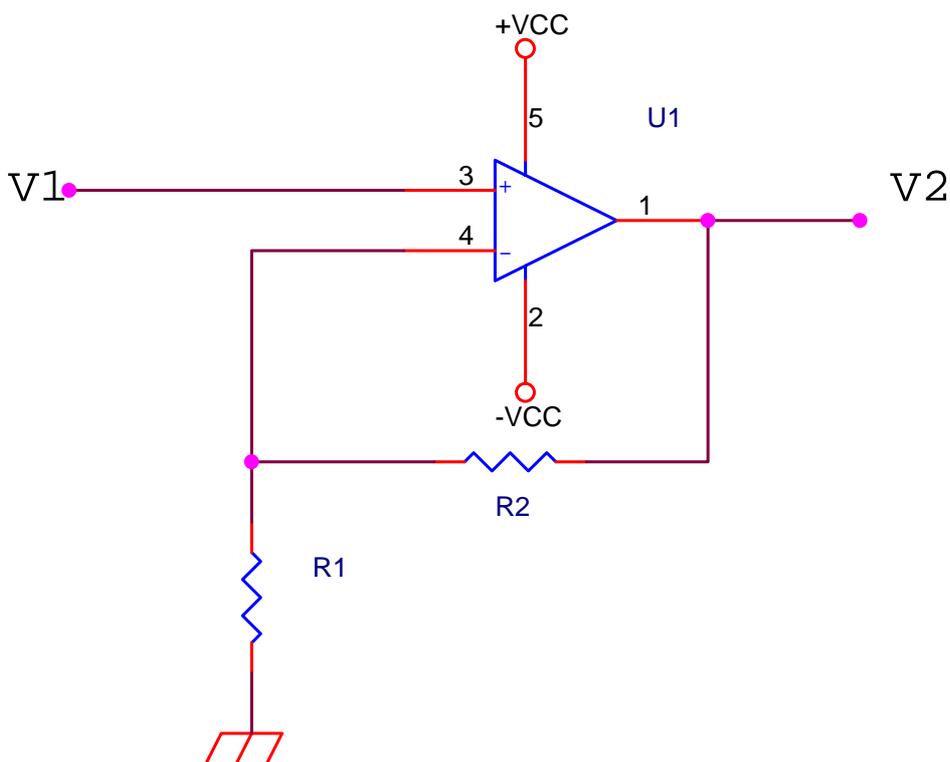
$$V_o = 2 \frac{1}{2} V_2 - V_1 = V_2 - V_1$$

Vediamo, dunque, che la tensione di uscita è pari alla differenza fra le tensioni di ingresso.

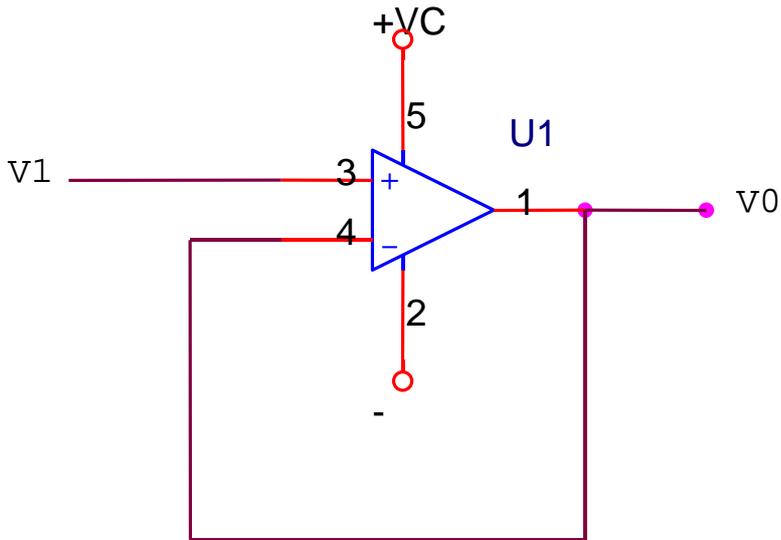
Buffer



questo circuito è detto anche inseguitore di tensione poiché la tensione di uscita è esattamente pari alla tensione di ingresso: $V_O=V_I$. Basta osservare che ci troviamo di fronte ad una configurazione non invertente



in cui $R_2=0$ e R_1 non c'è, il che equivale a dire che abbiamo messo una resistenza di valore infinito.

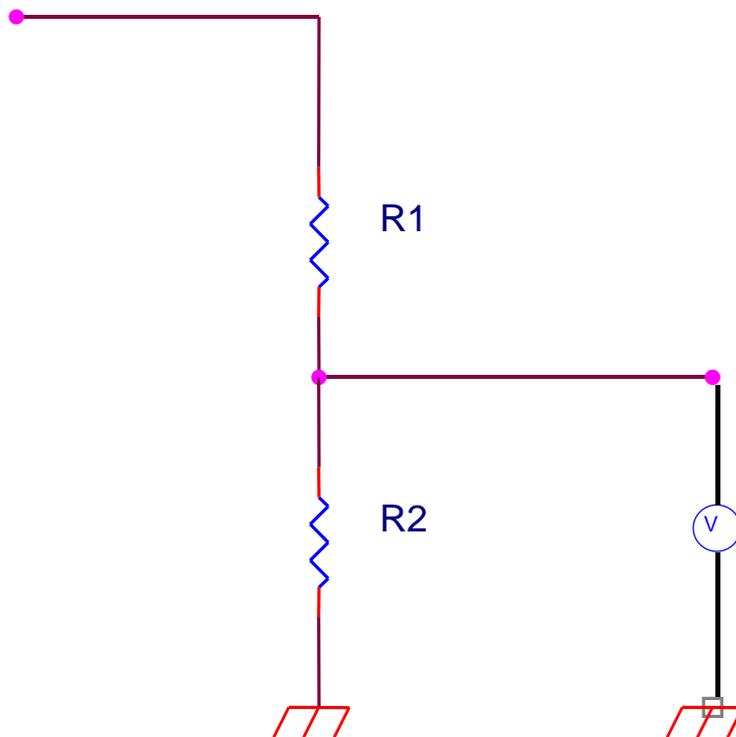


Applicando la formula

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_1 = \left(1 + \frac{0}{\infty}\right)V_1 = (1+0)V_1 = V_1$$

ci scusiamo con i matematici se abbiamo usato un linguaggio impreciso benché efficace, ma non avevamo alcuna voglia di metterci a parlare di limiti e quant'altro.

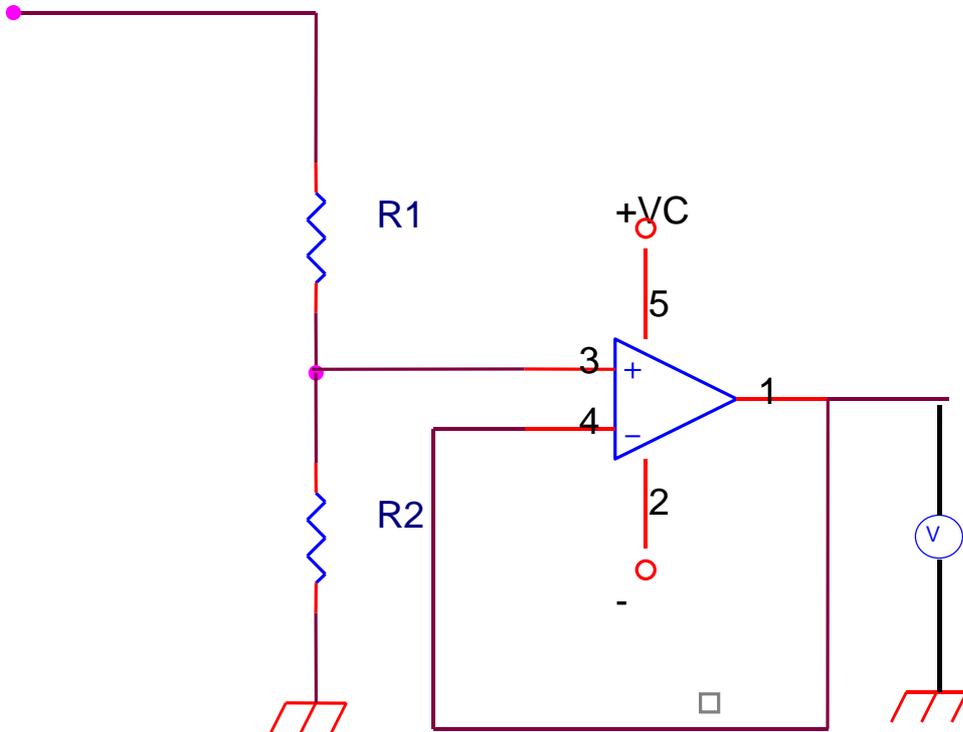
Ma a che *serve un amplificatore che non amplifica?* La risposta è che funziona da adattatore di impedenza. Vediamo un esempio. Consideriamo la figura seguente.



Con il voltmetro vogliamo misurare la tensione ai capi di R_2 . Ora sappiamo che l'inserzione di uno strumento di misura in un circuito introduce sempre un errore: nel nostro caso l'errore è dovuto al fatto che abbiamo introdotto nel circuito la resistenza interna del voltmetro in parallelo alla

resistenza R_2 modificando dunque valori di tensioni e correnti nel circuito. Se il valore della R_2 e della resistenza R_V sono dello stesso ordine di grandezza, abbiamo un errore notevole.

Nel circuito seguente, invece,



In questo caso la resistenza R_2 si trova in parallelo alla resistenza elevatissima offerta dal buffer per cui l'errore dovuto all'inserzione dello strumento è praticamente annullato.