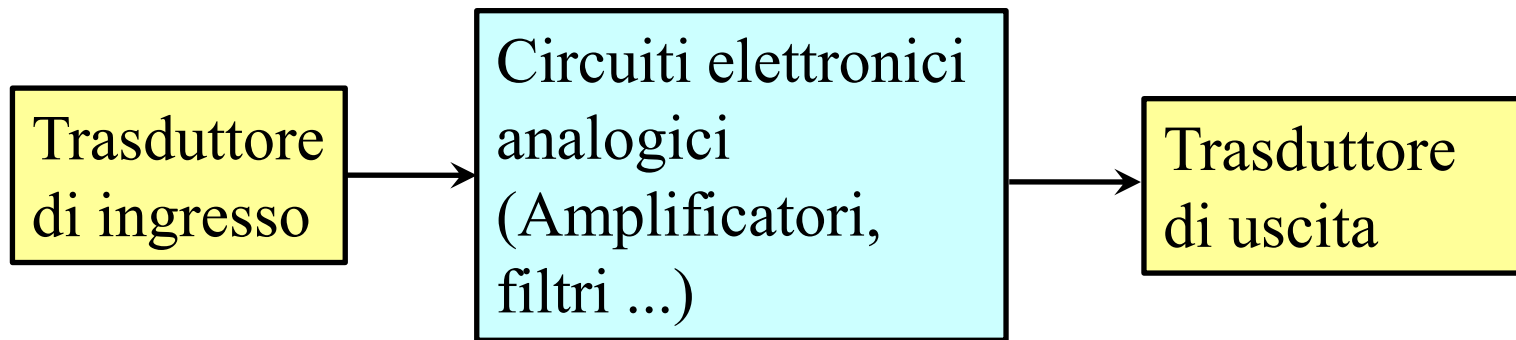

Introduzione all'Elettronica Analogica

Trattamento analogico dei segnali

La Figura presenta lo schema di un sistema elettronico analogico

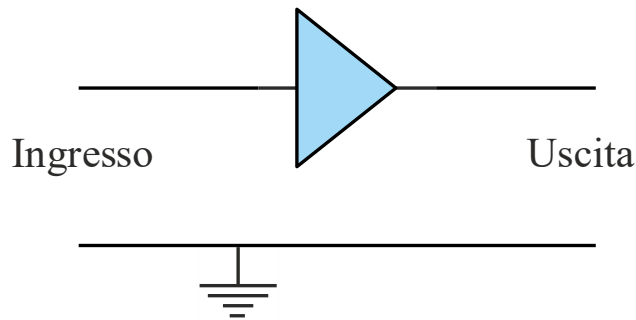


Il segnale fornito dal trasduttore di ingresso sarà rappresentabile mediante il suo **equivalente di Thevenin o di Norton**.

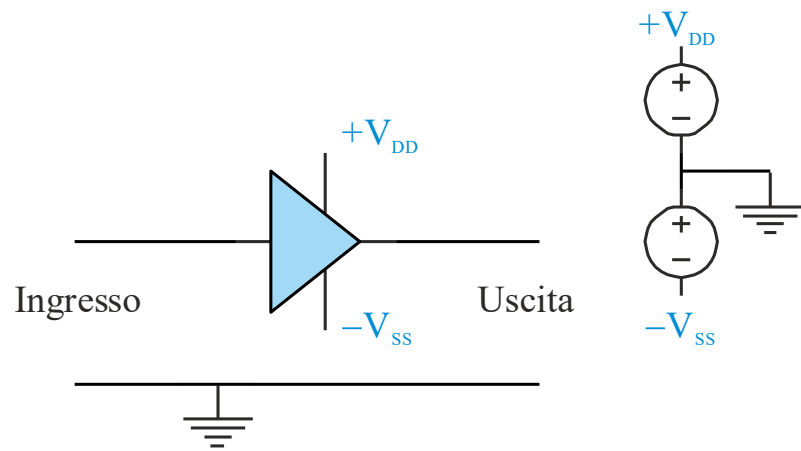
Il trasduttore di uscita sarà spesso rappresentato come una semplice **resistenza di carico**.

Amplificatore

L'amplificatore è il blocco fondamentale per il trattamento analogico dei segnali. È rappresentato da un blocco con due terminali di ingresso e due di uscita; in molti casi, ingresso e uscita hanno un terminale in comune:



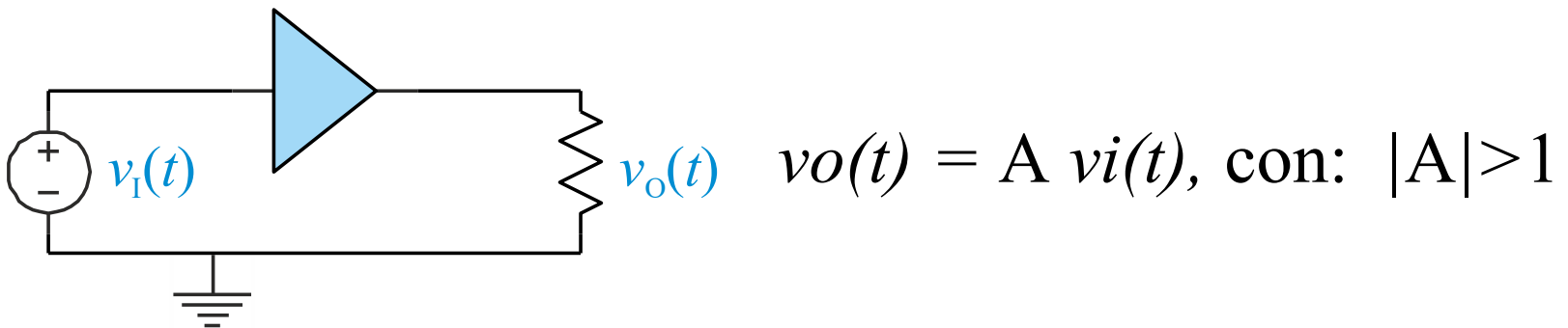
In pratica, **vi sono anche i terminali di alimentazione**, spesso sottointesi negli schemi elettrici:



Amplificatore

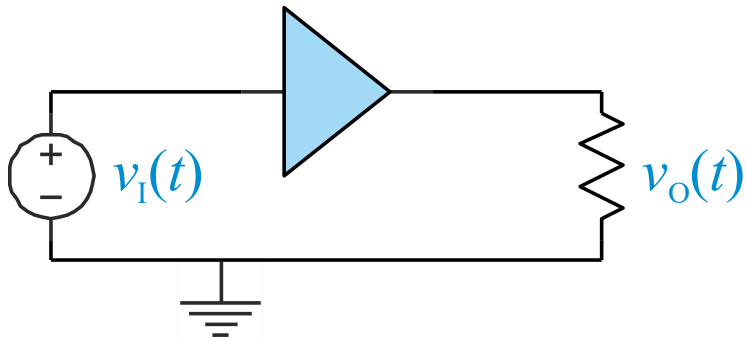
Amplificare significa **stabilire una relazione lineare fra ingresso e uscita.**

Rappresentiamo per semplicità l'ingresso con un generatore di tensione $v_i(t)$ e l'uscita con un resistore di carico R_L .

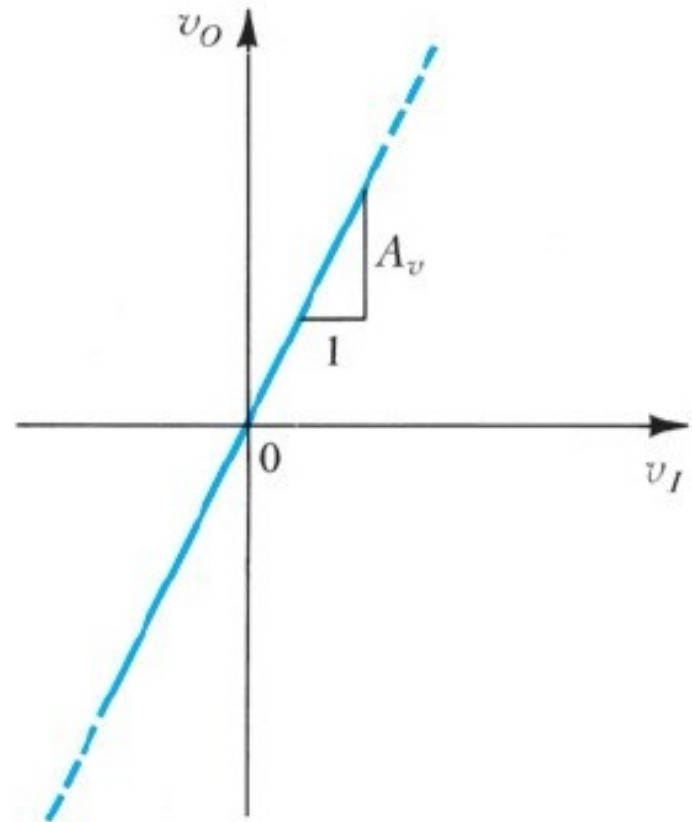


Il fattore A è il guadagno (in questo caso è il *guadagno di tensione*)

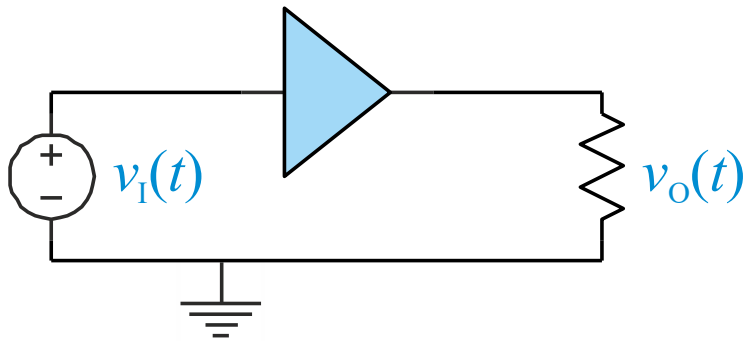
Caratteristica dell'Amplificatore ideale



$$v_O(t) = A v_I(t), \text{ con: } |A| > 1$$

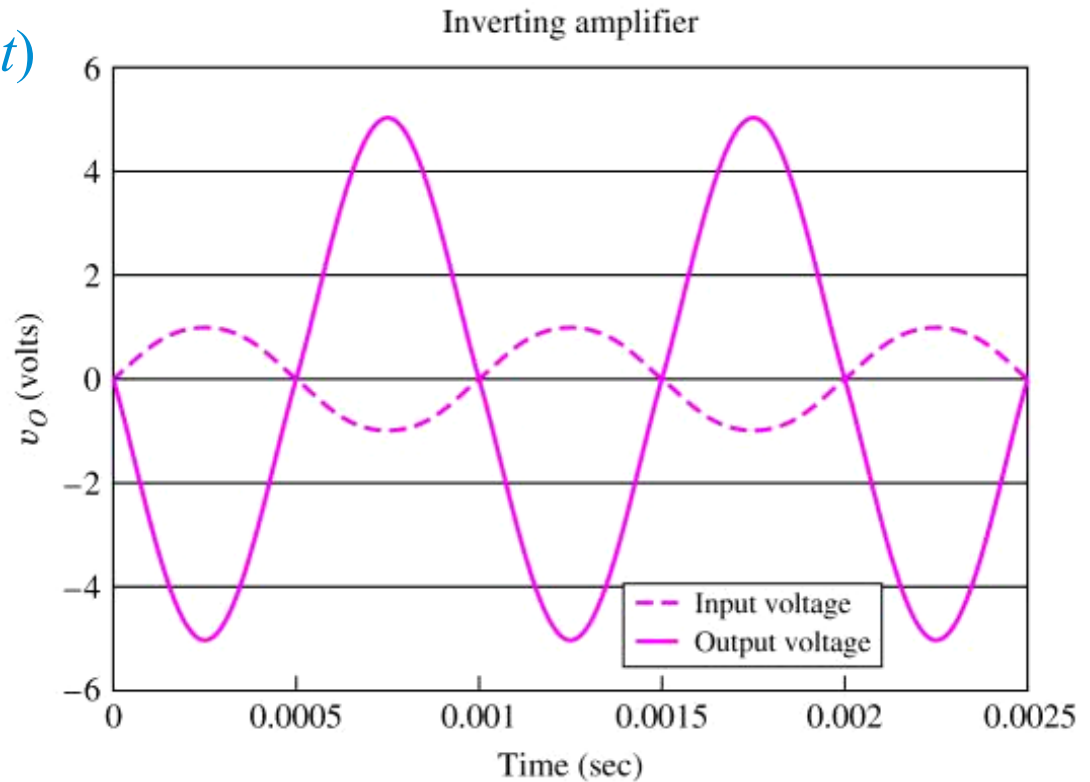


Esempio: Amplificatore invertente

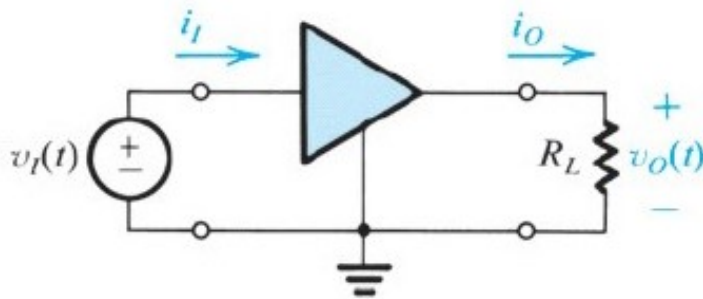


$$A = -5$$

$$v_i(t) = \sin(2000\pi t)$$



Amplificatore



In maniera analoga all'amplificazione di tensione A_v si può definire l'**amplificazione di corrente A_i** e l'**amplificazione di potenza A_p** .

Si dice che il sistema amplifica, se restituisce sul carico un segnale di ampiezza maggiore di quello applicato in ingresso, cioè se A , in modulo, è maggiore di uno.

$$A_v \equiv \frac{v_0}{v_I} \quad A_I \equiv \frac{i_0}{i_I}$$

$$A_P \equiv \frac{P_L}{P_I} = \frac{v_0 i_0}{v_I i_I} = A_V A_I$$

Perché l'amplificatore deve essere lineare?

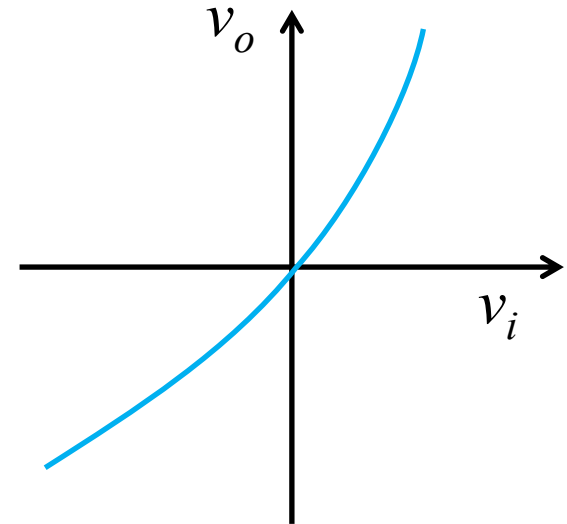
Supponiamo che la relazione fra ingresso ed uscita sia **non-lineare**. Ad esempio, ipotizziamo che possa includere un termine del secondo ordine:

$$v_o(t) = A v_i(t) + B v_i^2(t)$$

Applichiamo un ingresso sinusoidale:

$$v_i(t) = V_P \sin(\omega t)$$

Quale sarà l'uscita?



Distorsione non lineare

$$v_o(t) = A[V_P \sin(\omega t)] + B [V_P \sin(\omega t)]^2$$

$$\sin^2(\omega t) = (1/2) - (1/2) \cos(2\omega t)$$

$$v_o(t) = (1/2)B V_P^2 + A V_P \sin(\omega t) - (1/2) B V_P^2 \cos(2\omega t)$$

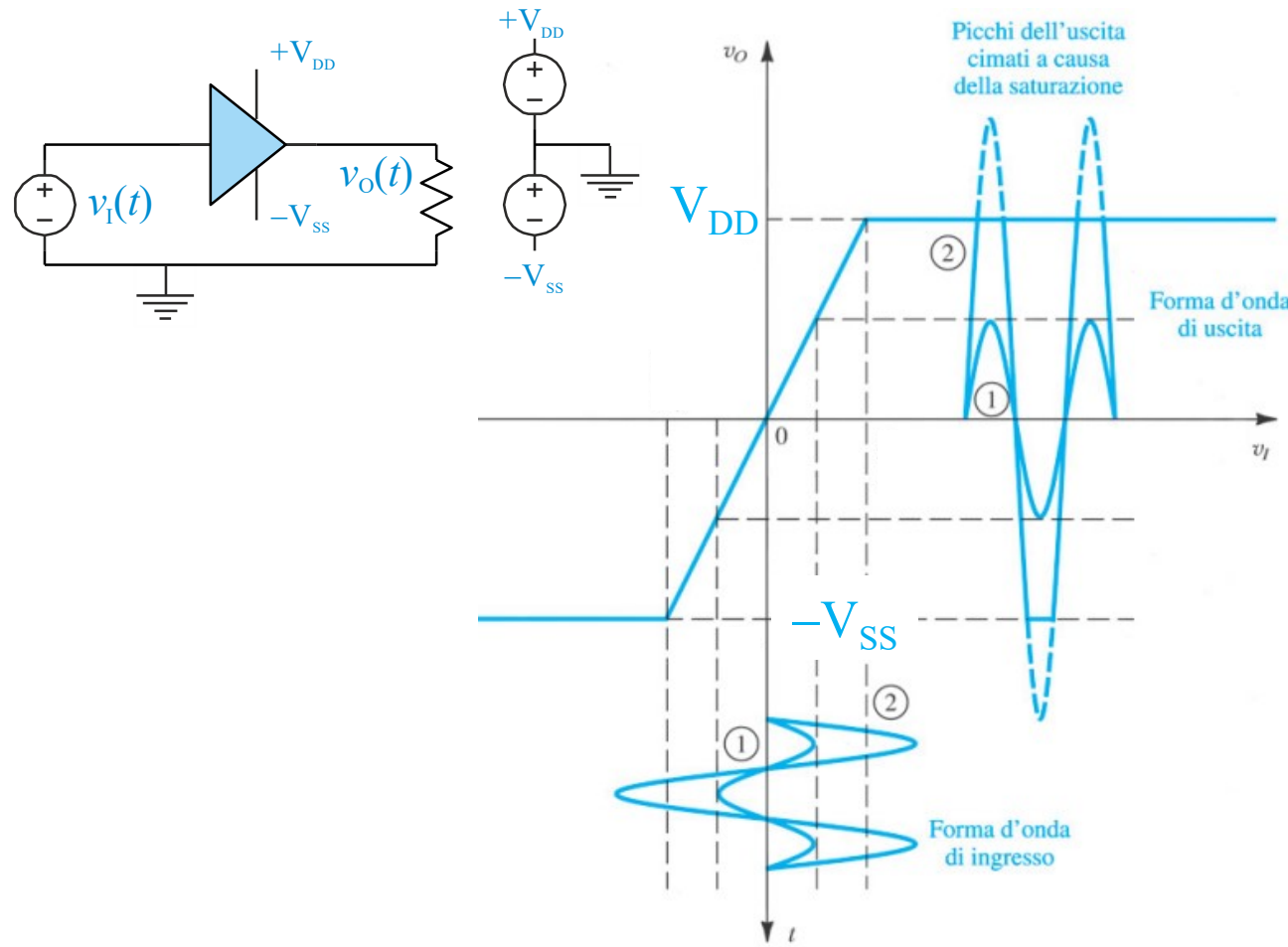
Nasce un termine indesiderato, **a frequenza doppia** rispetto all'ingresso.

Se la caratteristica $v_o = f(v_i)$ include termini del terzo ordine nasceranno termini a frequenza tripla e così via.

Distorsione non-lineare.

Non-linearità nella caratteristica di trasferimento di un amplificatore sono indesiderate e vanno ridotte al minimo.

Amplificatore Non Ideale



In pratica, la caratteristica di trasferimento **è lineare solo in un intervallo limitato delle tensioni di ingresso**. In particolare **la tensione di uscita non può superare quella di alimentazione**. Quando il segnale è particolarmente ampio, i picchi dell'uscita vengono "cimati" a causa della **saturazione** dell'amplificatore.

Decibel

L'amplificazione è spesso espressa in decibel:

$$A_{v_{dB}} = 20 \log |A_v|$$

$$1 \Rightarrow 0_{dB}$$

$$0.707 \Rightarrow -3_{dB}$$

$$1.41 \Rightarrow 3_{dB}$$

$$0.5 \Rightarrow -6_{dB}$$

$$2 \Rightarrow 6_{dB}$$

$$0.1 \Rightarrow -20_{dB}$$

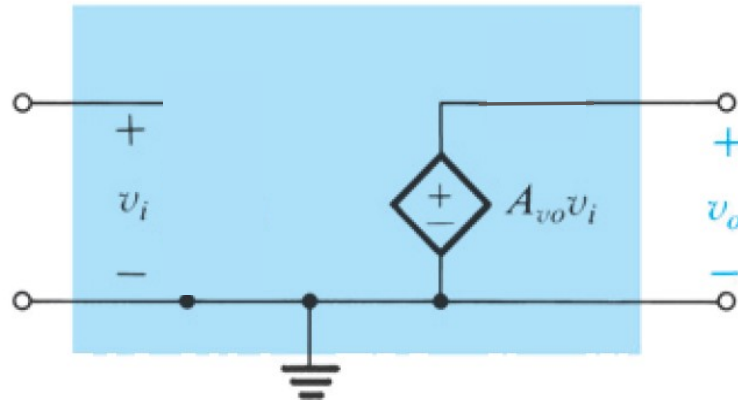
$$10 \Rightarrow 20_{dB}$$

$$100 \Rightarrow 40_{dB}$$

Amplificazione in dB negativa implica attenuazione del segnale

Modello circuitale di un Amplificatore di tensione ideale

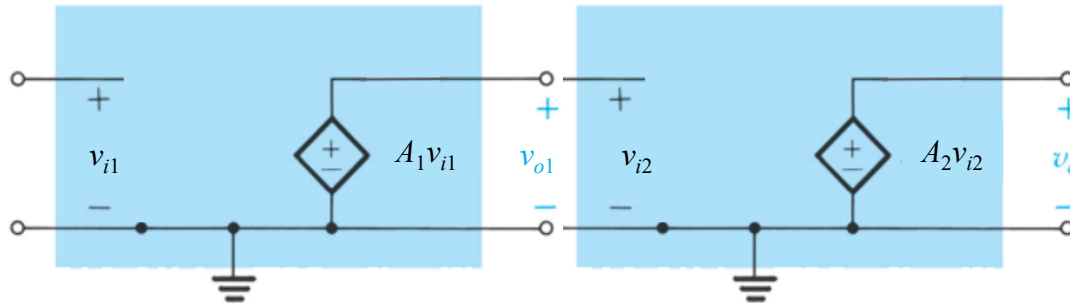
Un amplificatore ideale di tensione è in grado di imprimere una tensione di uscita proporzionale alla tensione d'ingresso presente su di un'altra coppia di terminali. È dunque rappresentato da un **generatore controllato di tensione**:



A_{vo} è l'amplificazione di tensione.

Amplificatori ideali in cascata

Poniamo in cascata due amplificatori ideali, il primo con guadagno A_1 ed il secondo con guadagno A_2



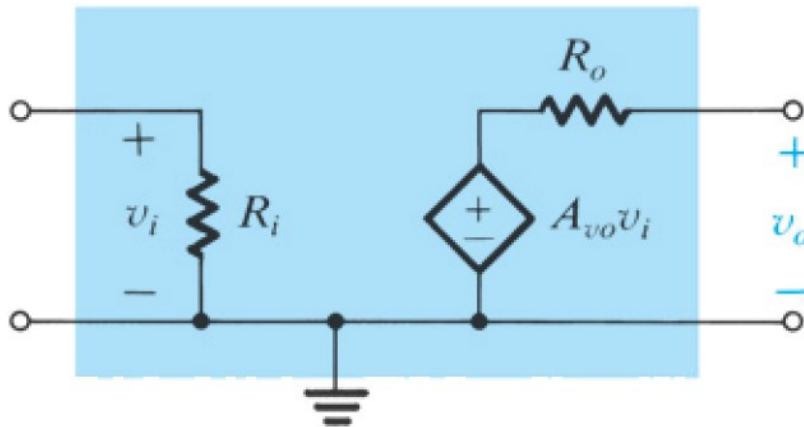
$$v_{o1} = A_1 v_{i1}; \quad v_o = A_2 v_{o1} = A_1 A_2 v_i$$

Il guadagno complessivo è il prodotto dei guadagni dei due stadi.

Espresso in decibel, il guadagno complessivo è la somma dei guadagni in decibel dei due stadi

Modello circuitale di un Amplificatore di tensione reale

In pratica, un amplificatore di tensione avrà una **resistenza di ingresso finita, R_i** ed una **resistenza di uscita diversa da zero, R_o** :

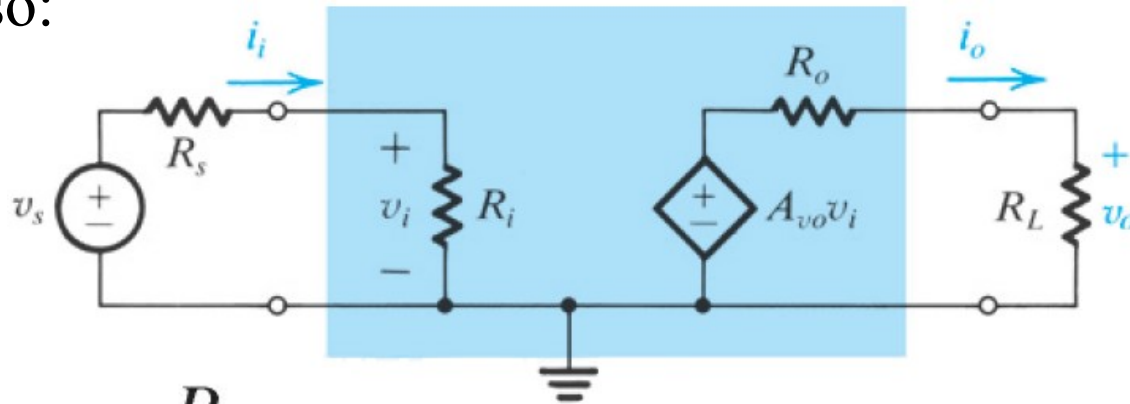


Non idealità:

- 1) resistenza in serie al generatore controllato
- 2) resistenza d'ingresso.

Amplificatore reale

Qual è l'effetto di R_i ed R_o ? Portiamo in conto il carico R_L in uscita ed il circuito equivalente di thevenin per il segnale d'ingresso:



$$v_i = v_s \frac{R_i}{R_i + R_s}$$
$$v_o = A_{vo} v_i \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$\frac{v_o}{v_s} = A_{vo} \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

Amplificatore reale

$$\frac{v_o}{v_s} = \underbrace{A_{vo}}_1 \underbrace{\frac{R_i}{R_i + R_s}}_2 \underbrace{\frac{R_L}{R_L + R_o}}_3$$

Il Guadagno complessivo è composto da 3 fattori:

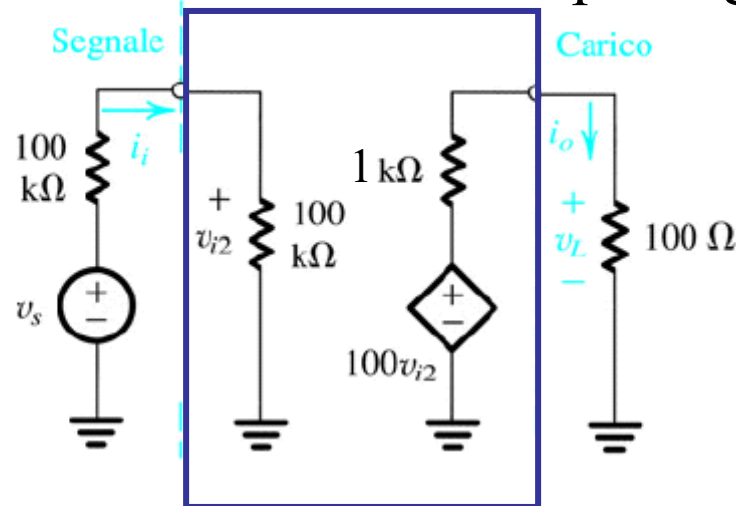
1. A_{vo} l'amplificazione fornita dal generatore controllato
2. l'effetto del partitore in ingresso
3. l'effetto del partitore in uscita

I termini 2. e 3. dovrebbero essere quanto più possibile prossimi all'unità: ciò si può ottenere aumentando R_i e riducendo R_o .

Nel caso ideale (**amplificatore ideale di tensione**): $R_i=0$; $R_o=\infty$

Esempio

L'effetto delle resistenze di ingresso e di uscita può essere molto rilevante. Consideriamo l'esempio seguente:

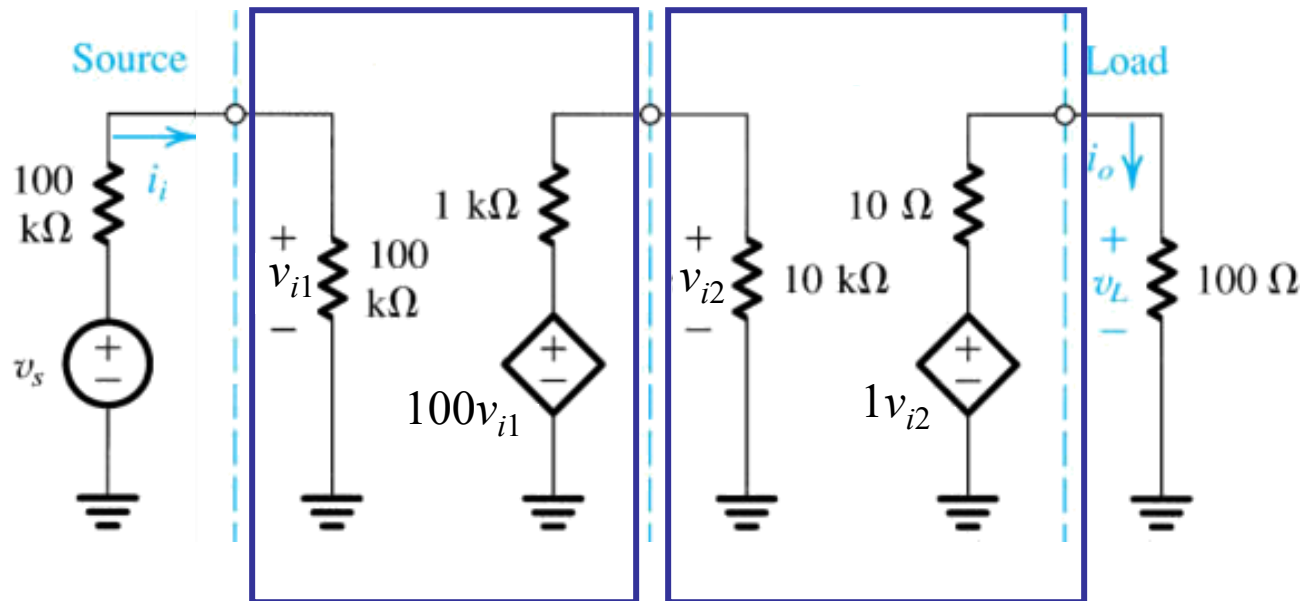


$$A_v = 100 \times \frac{100\text{k}}{100\text{k} + 100\text{k}} \times \frac{100}{100 + 1000} = 100 \times 0.5 \times 0.091 = 4.55$$

L'amplificazione effettiva è una piccola frazione di A_{vo}

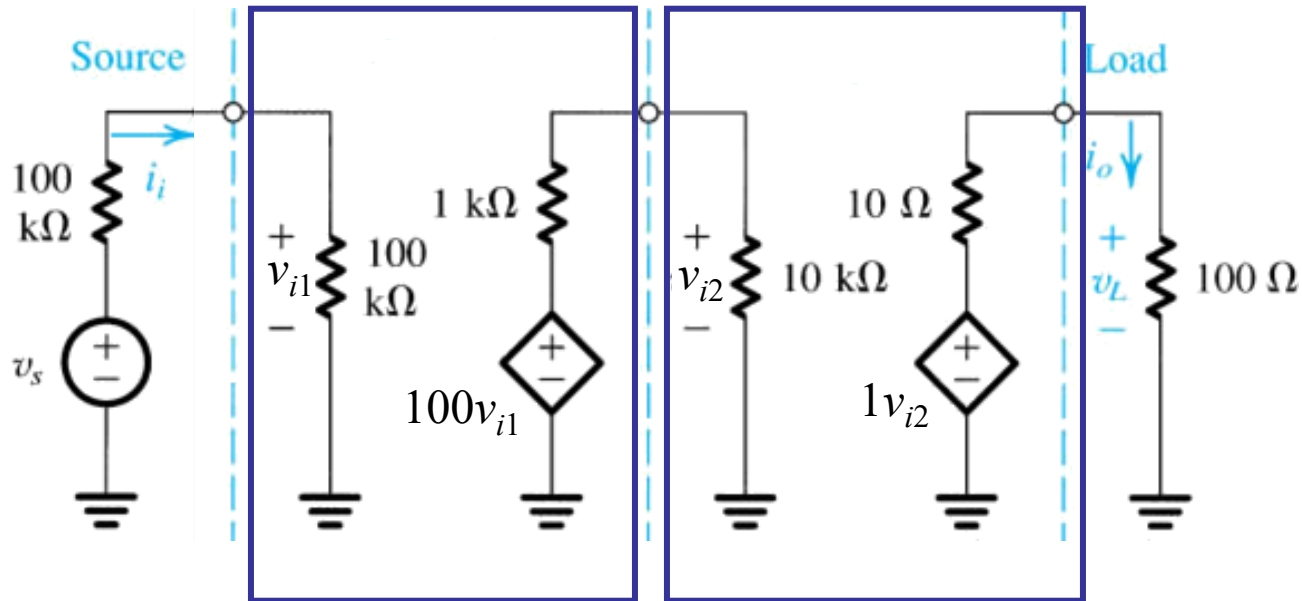
Esempio (2)

Introduciamo un secondo stadio, con guadagno unitario



Sappiamo che il guadagno complessivo di due amplificatori *ideali* è il prodotto dei guadagni dei singoli stadi.
Che utilità ha il secondo stadio, che ha guadagno unitario?

Esempio (2)

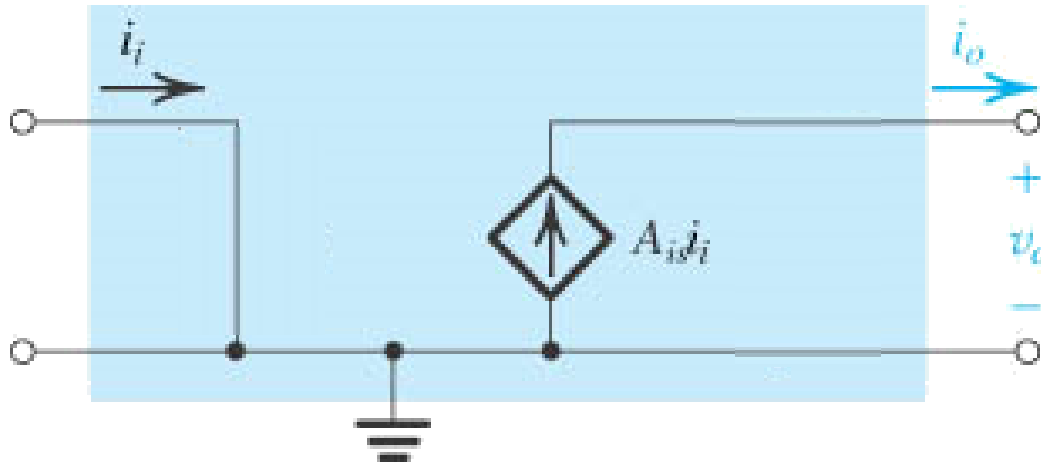


$$A_v = 100 \times 1 \times \frac{100k}{100k + 100k} \times \frac{10k}{10k + 1k} \times \frac{100}{100 + 10} = 41.4$$

Il secondo stadio, pur avendo A_{v_o} unitario, aumenta di un fattore 10 il guadagno complessivo, grazie principalmente alla ridotta resistenza di uscita (molto minore di R_L) ed alla elevata resistenza di ingresso (molto maggiore rispetto alla resistenza offerta dallo stadio a monte).

Altri modelli di amplificatore

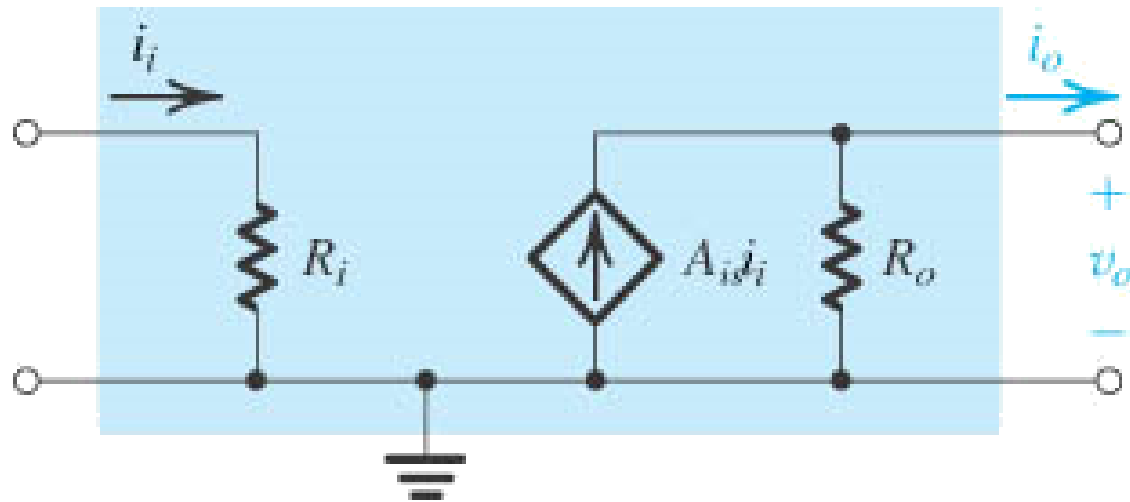
In alcuni casi, la grandezza di interesse da amplificare non è la tensione, ma la corrente



Amplificatore ideale di corrente: è in grado di imprimere una corrente di uscita proporzionale alla corrente d'ingresso. È dunque rappresentato da un **generatore di corrente controllato in corrente**

Altri modelli di amplificatore

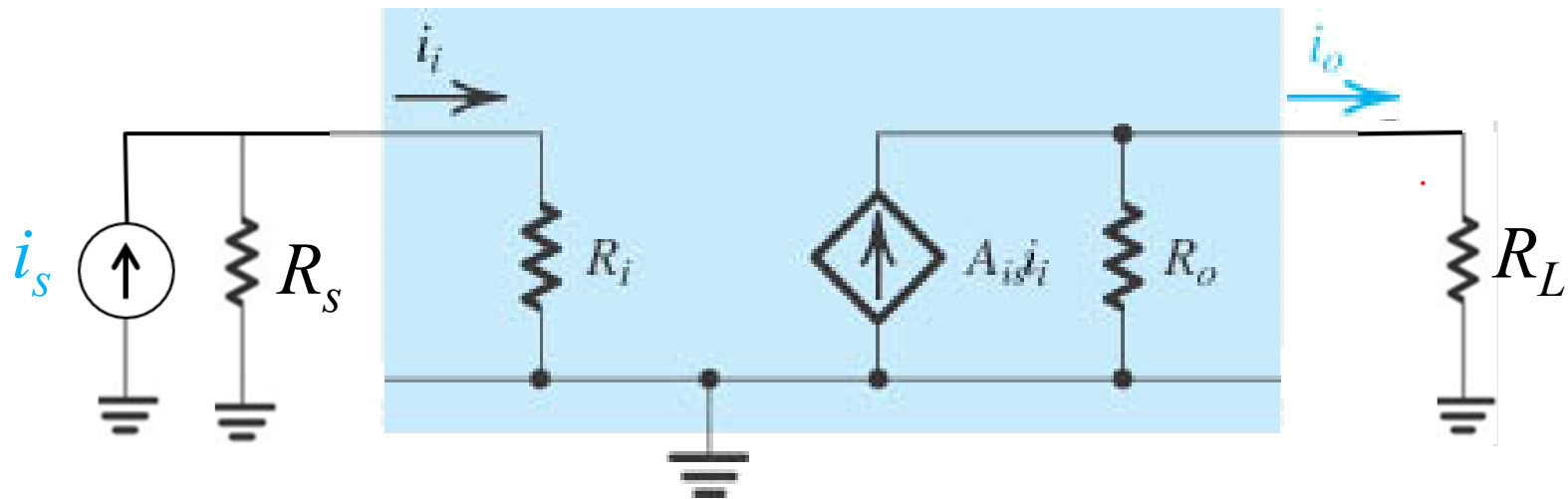
Amplificatore reale di corrente



La resistenza d'ingresso è diversa da zero; la resistenza di uscita non è infinita

Altri modelli di amplificatore

Amplificatore reale di corrente



$$i_i = i_s R_s / (R_s + R_i); i_o = A_i i_i R_o / (R_o + R_L)$$

$$i_o / i_s = A_i [R_s / (R_s + R_i)] [R_o / (R_o + R_L)]$$

In un buon amplificatore di corrente R_i deve essere la più piccola possibile ed R_o la più grande possibile