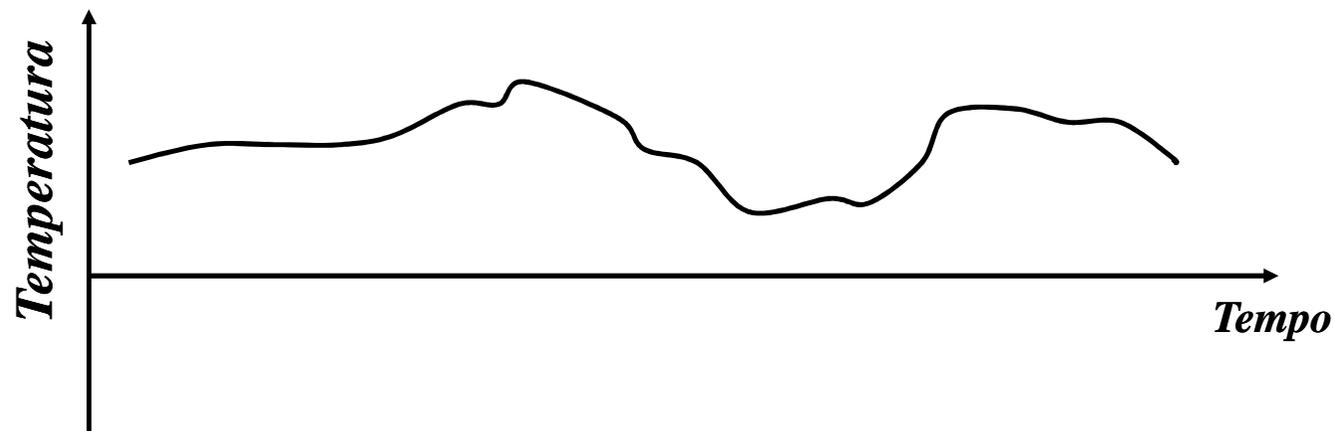


# Segnali

**Segnale: supporto fisico di natura qualunque (elettrica, acustica, ottica, etc.) cui si associa una informazione allo scopo di poterla trasferire da una sorgente ad un utilizzatore.**

**Esempio: temperatura ambiente in un determinato periodo di tempo**





# Segnali

## Esempi:

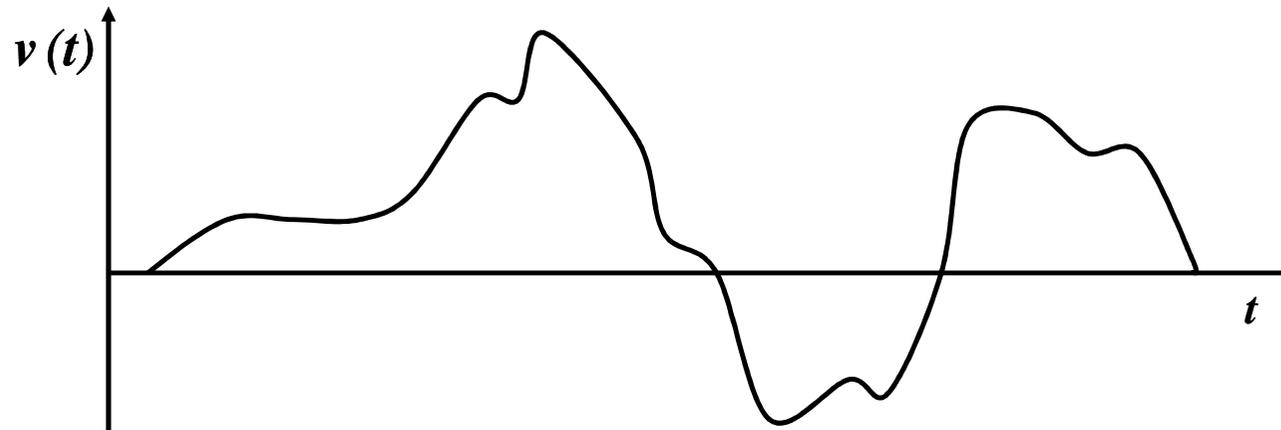
- **Segnale elettrico prodotto da un sensore di luminosità (es. sonde crepuscolari, domotica)**
- **Segnale elettrico prodotto da un sensore acustico (es. microfono audio, sonar)**
- **Segnale elettrico prodotto da un sensore di velocità (es. tachimetro, autovelox)**
- **Segnale elettrico prodotto da un sensore di accelerazione (es. ABS, airbag)**
- **.....**



# Segnali analogici e digitali

**Segnale analogico:**

**tempo e ampiezza continua**

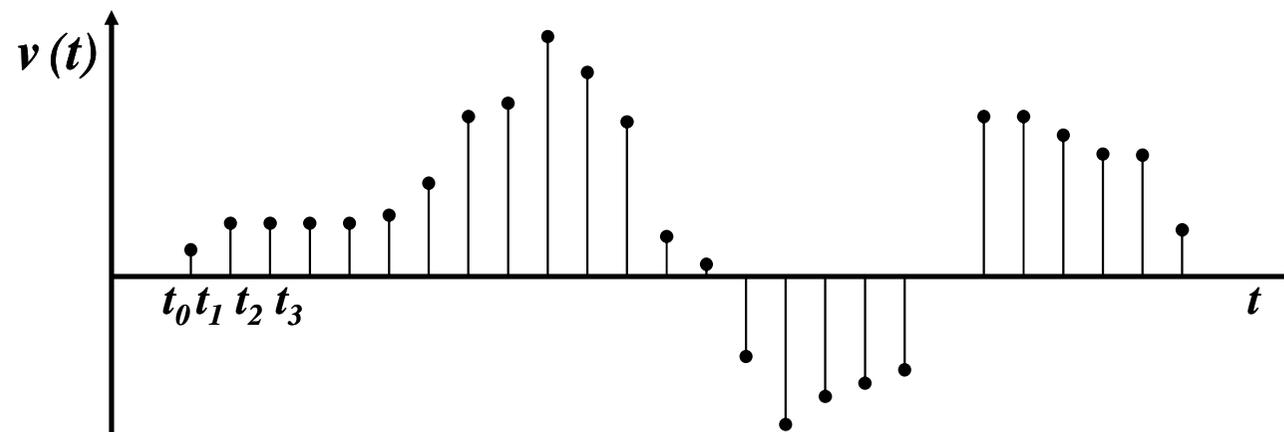




# Segnali analogici e digitali

**Segnale campionato:**

**tempo discreto, ampiezza continua**

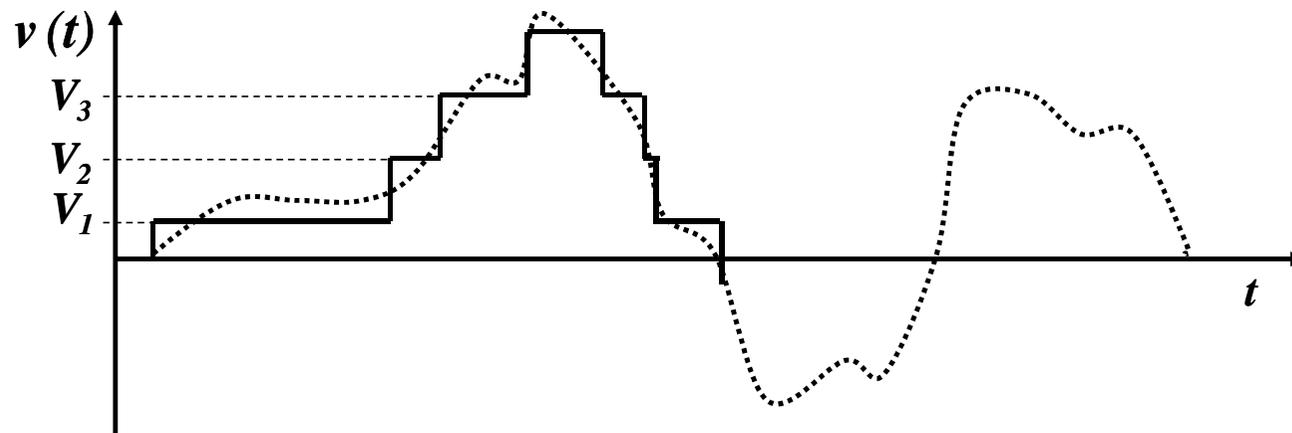




# Segnali analogici e digitali

**Segnale analogico quantizzato:**

**tempo continuo, ampiezza discreta**







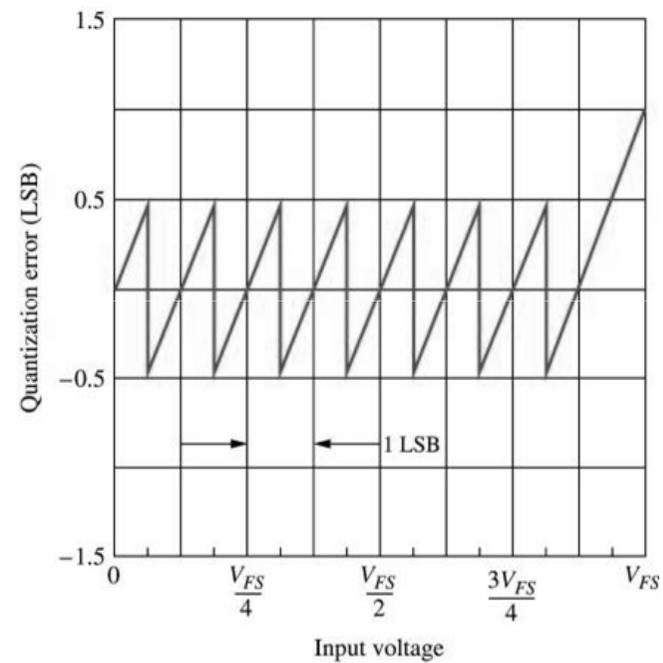
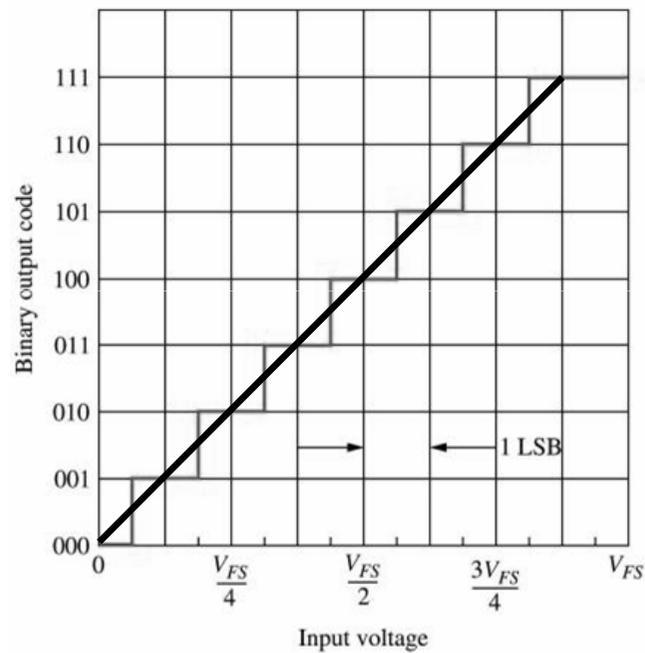
## Conversione A/D e D/A

- conversione analogico-digitale
  - ◆ campionamento: da segnale analogico a segnale campionato
  - ◆ quantizzazione: da segnale campionato a segnale numerico
- conversione digitale-analogica
  - ◆ interpolazione a tenuta: da segnale campionato a segnale analogico quantizzato
  - ◆ filtraggio passa-basso: da segnale analogico quantizzato a segnale analogico



# Segnali analogici e digitali

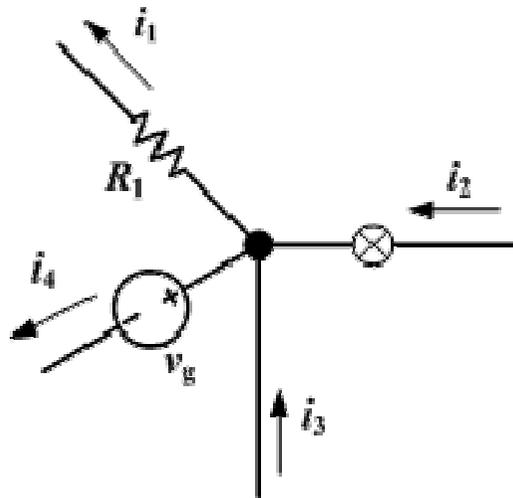
## Quantizzazione





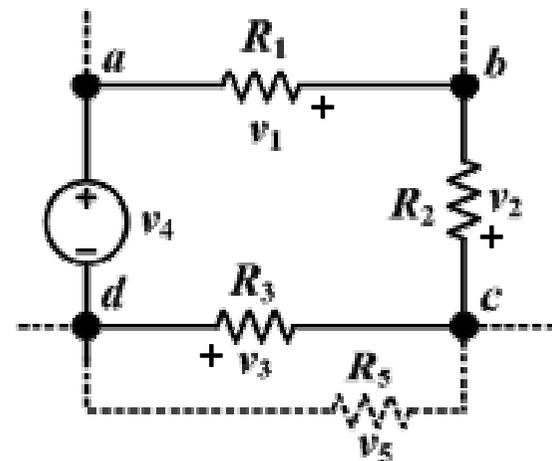
# Reti elettriche

- Leggi di Kirchhoff



$$i_2 + i_3 - i_1 - i_4 = 0$$

- I<sup>a</sup> legge: la somma delle correnti entranti in un nodo è nulla



$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 0$$

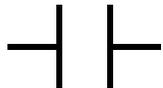
- II<sup>a</sup> legge: la somma delle tensioni in una maglia è nulla



## Reti elettriche

- componenti passivi:

- resistore   $v_R(t) = R \cdot i_R(t)$

- condensatore   $v_C(t) = v_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_C(\tau) \cdot d\tau$

- induttore   $v_L(t) = L \cdot \frac{di_L}{dt}(t)$

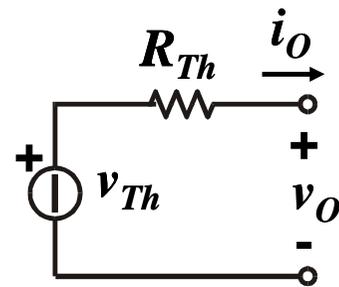
- componenti attivi

- diodi, transistor, ... amplificatori (li studiamo nel corso)



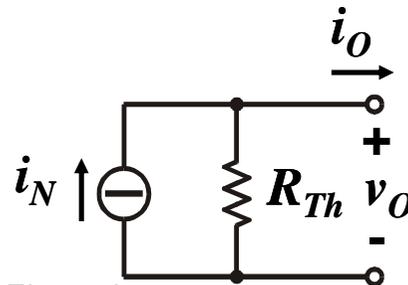
# Sorgenti

## Rappresentazione secondo Thévenin

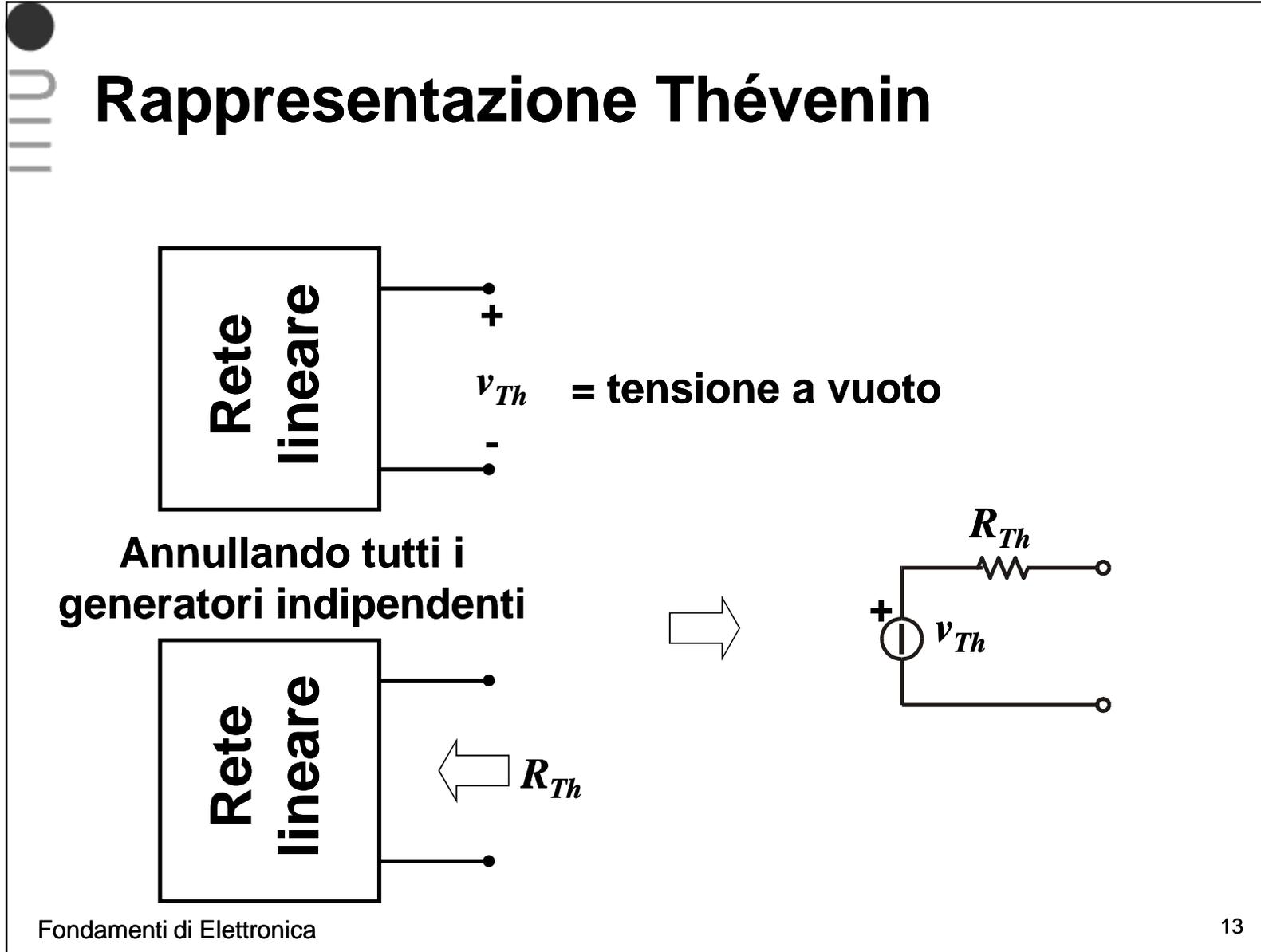


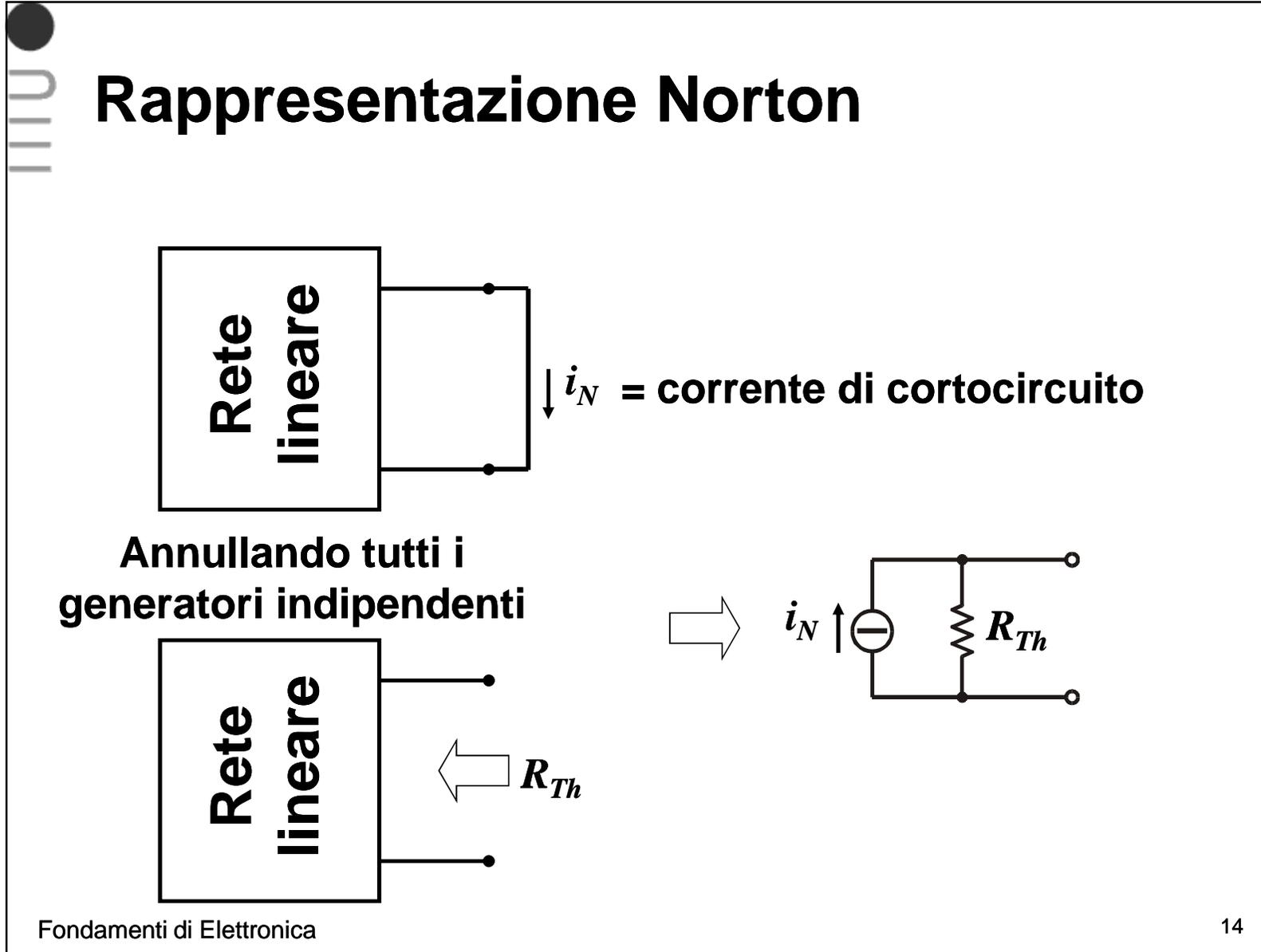
$v_{Th}$  = tensione a vuoto

## Rappresentazione secondo Norton



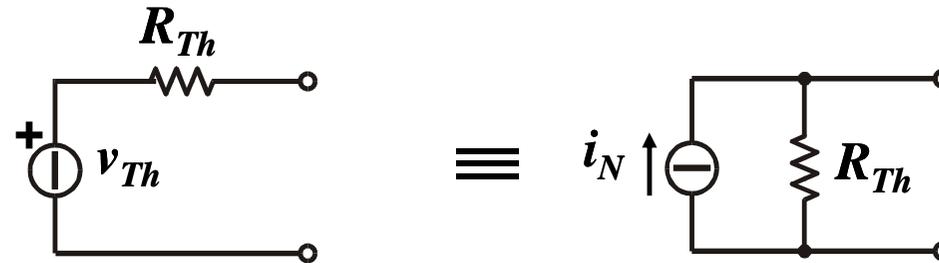
$i_N$  = corrente di cortocircuito







# Equivalenza



$$v_{Th} = R_{Th} i_N$$



$$R_{Th} = \frac{v_{Th}}{i_N} = \frac{\textit{tensione a vuoto}}{\textit{corrente di cortocircuito}}$$

## Principio di sovrapposizione degli effetti (reti lineari)

**c = causa**

$$\mathbf{c}_1 \rightarrow \mathbf{e}_1$$

**e = effetto**

$$\mathbf{c}_2 \rightarrow \mathbf{e}_2$$

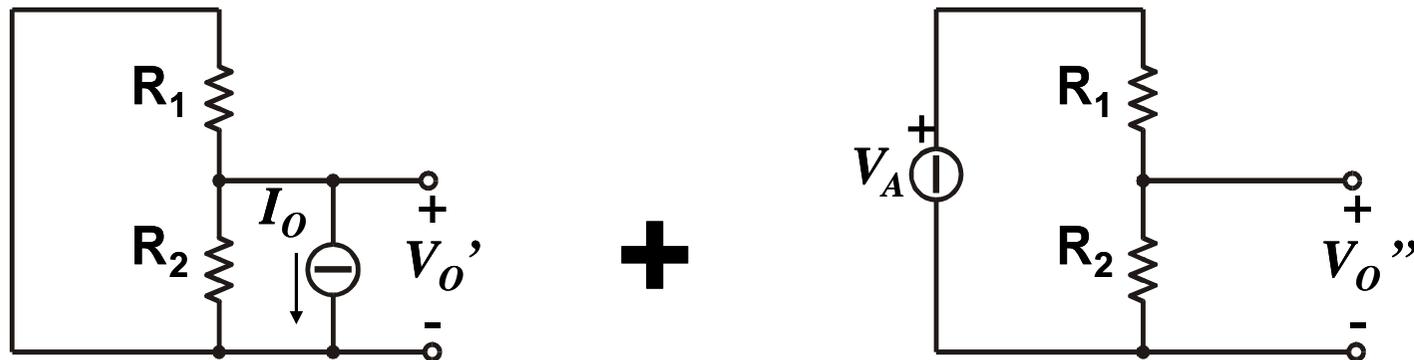
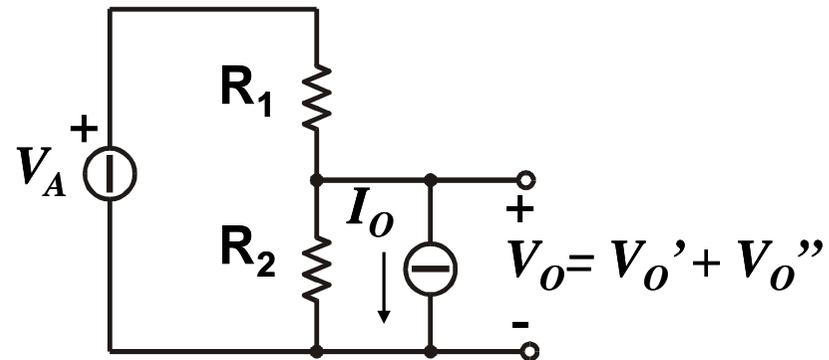


$$\alpha \mathbf{c}_1 + \beta \mathbf{c}_2 \rightarrow \alpha \mathbf{e}_1 + \beta \mathbf{e}_2$$

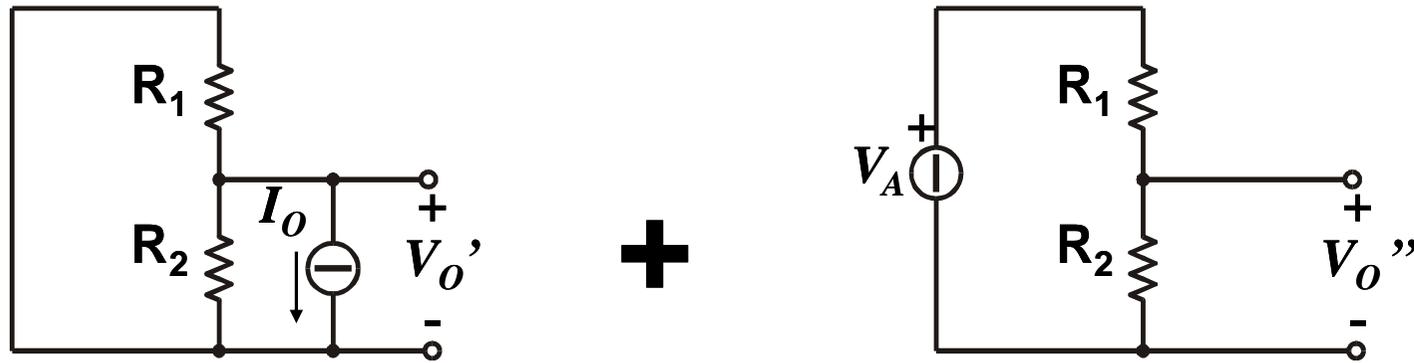
$$\alpha, \beta \in \mathfrak{R}$$

# Principio di sovrapposizione degli effetti

Esempio:



## Principio di sovrapposizione degli effetti

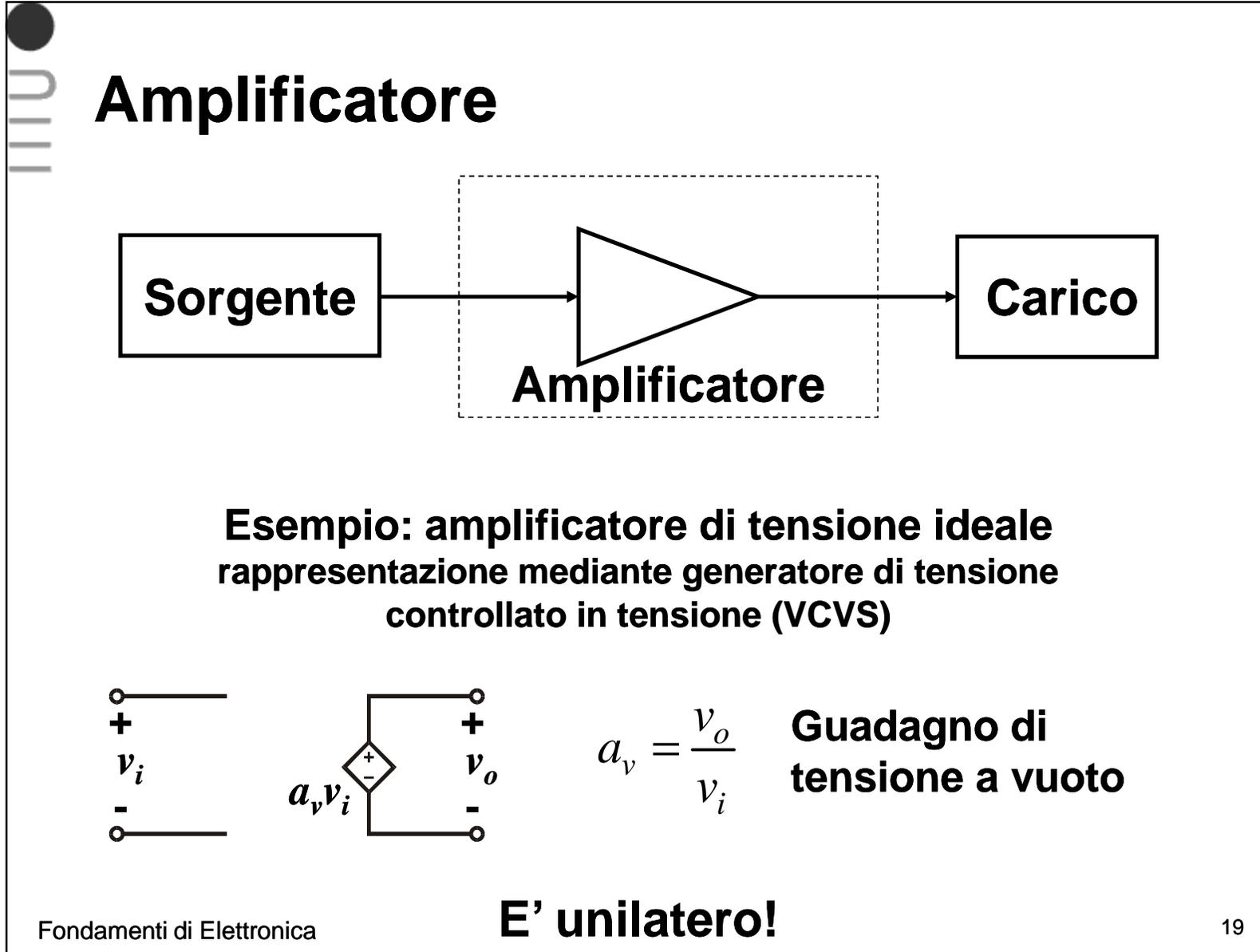


$$V_O' = -I_O \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

+

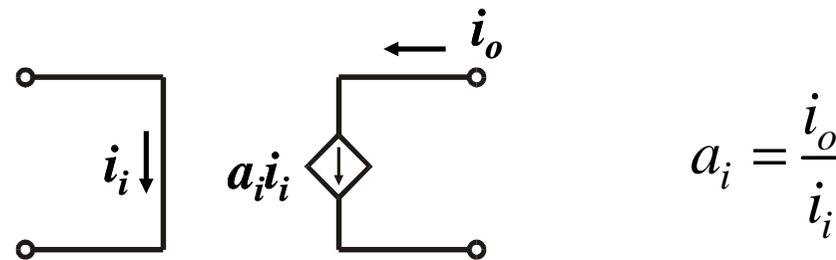
$$V_O'' = V_A \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_O = V_A \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_O \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



# Amplificatore di corrente ideale

Rappresentazione mediante generatore di corrente controllato in corrente (CCCS)



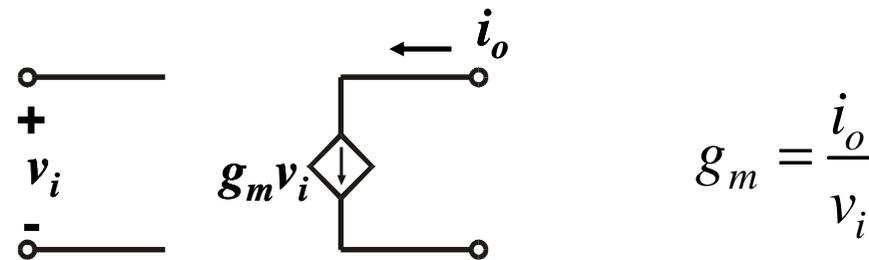
$$a_i = \frac{i_o}{i_i}$$



**Guadagno di corrente  
di cortocircuito**

# Amplificatore di transconduttanza ideale

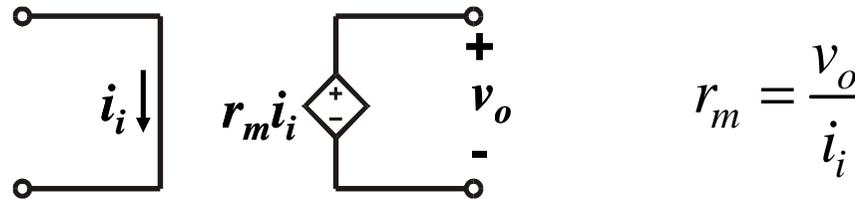
Rappresentazione mediante generatore di corrente controllato in tensione (VCCS)



**Guadagno di transconduttanza di cortocircuito**

# Amplificatore di transresistenza ideale

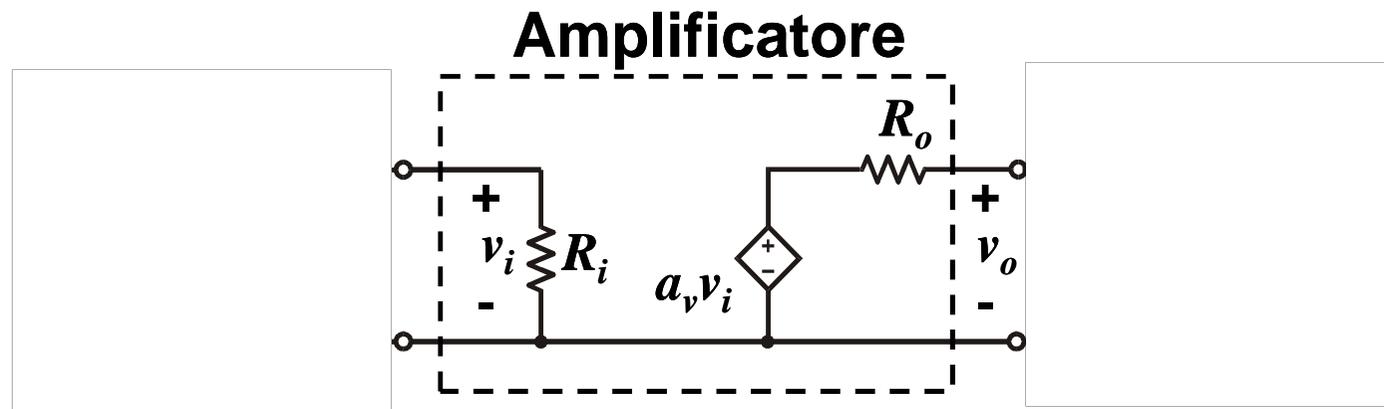
Rappresentazione mediante generatore di tensione controllato in corrente (CCVS)



**Guadagno di transresistenza  
di circuito aperto**



# Amplificatore di tensione reale



$R_i$  = resistenza d'ingresso dell'amplificatore

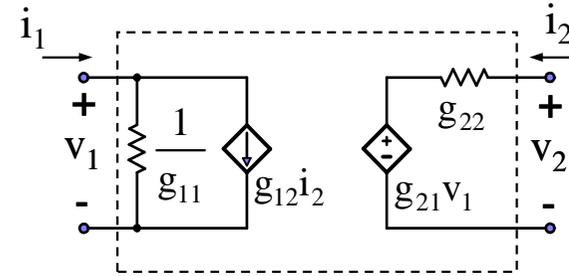
$R_o$  = resistenza di uscita dell'amplificatore



## Modello del doppio bipolo

**Esempio:  
parametri  $g$**

$$\begin{cases} i_1 = g_{11}v_1 + g_{12}i_2 \\ v_2 = g_{21}v_1 + g_{22}i_2 \end{cases}$$



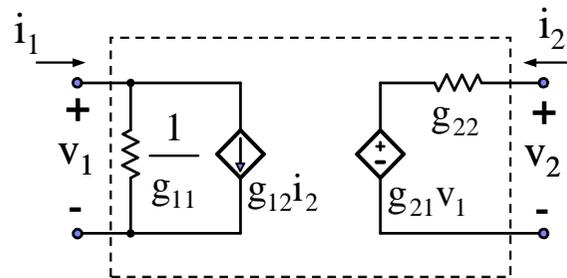
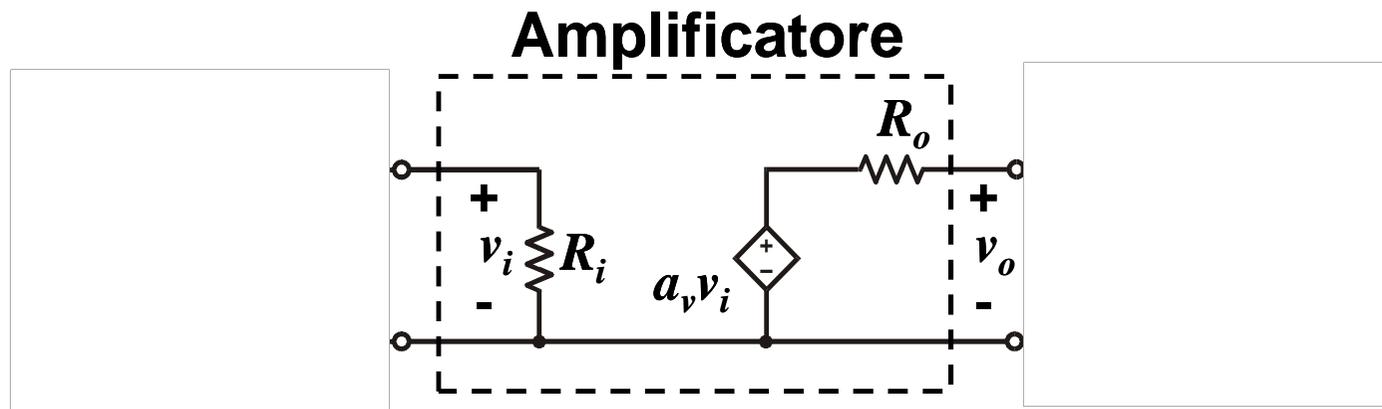
$$g_{11} = \left. \frac{i_1}{v_1} \right|_{i_2=0} = \text{conduttanza d'ingresso a circuito aperto}$$

$$g_{12} = \left. \frac{i_1}{i_2} \right|_{v_1=0} = \text{guadagno di corrente inverso in cortocircuito}$$

$$g_{21} = \left. \frac{v_2}{v_1} \right|_{i_2=0} = \text{guadagno di tensione diretto a circuito aperto}$$

$$g_{22} = \left. \frac{v_2}{i_2} \right|_{v_1=0} = \text{resistenza di uscita in cortocircuito}$$

# Amplificatore di tensione reale



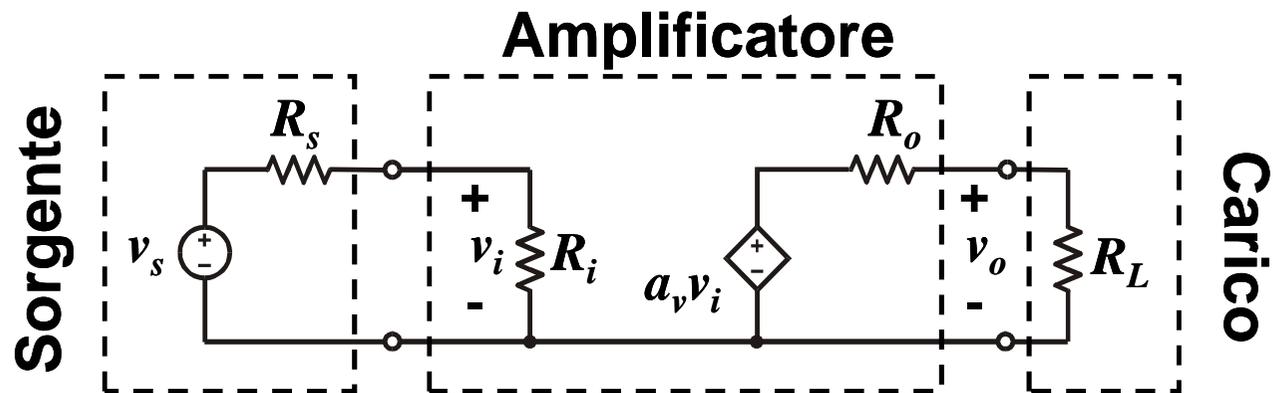
$$R_i = \frac{1}{g_{11}}$$

$$g_{12} = 0$$

$$R_o = g_{22}$$

$$a_v = g_{21}$$

# Amplificatore di tensione reale



$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = a_v \left( \frac{R_L}{R_L + R_o} \right) \left( \frac{R_i}{R_i + R_s} \right) \leq a_v$$

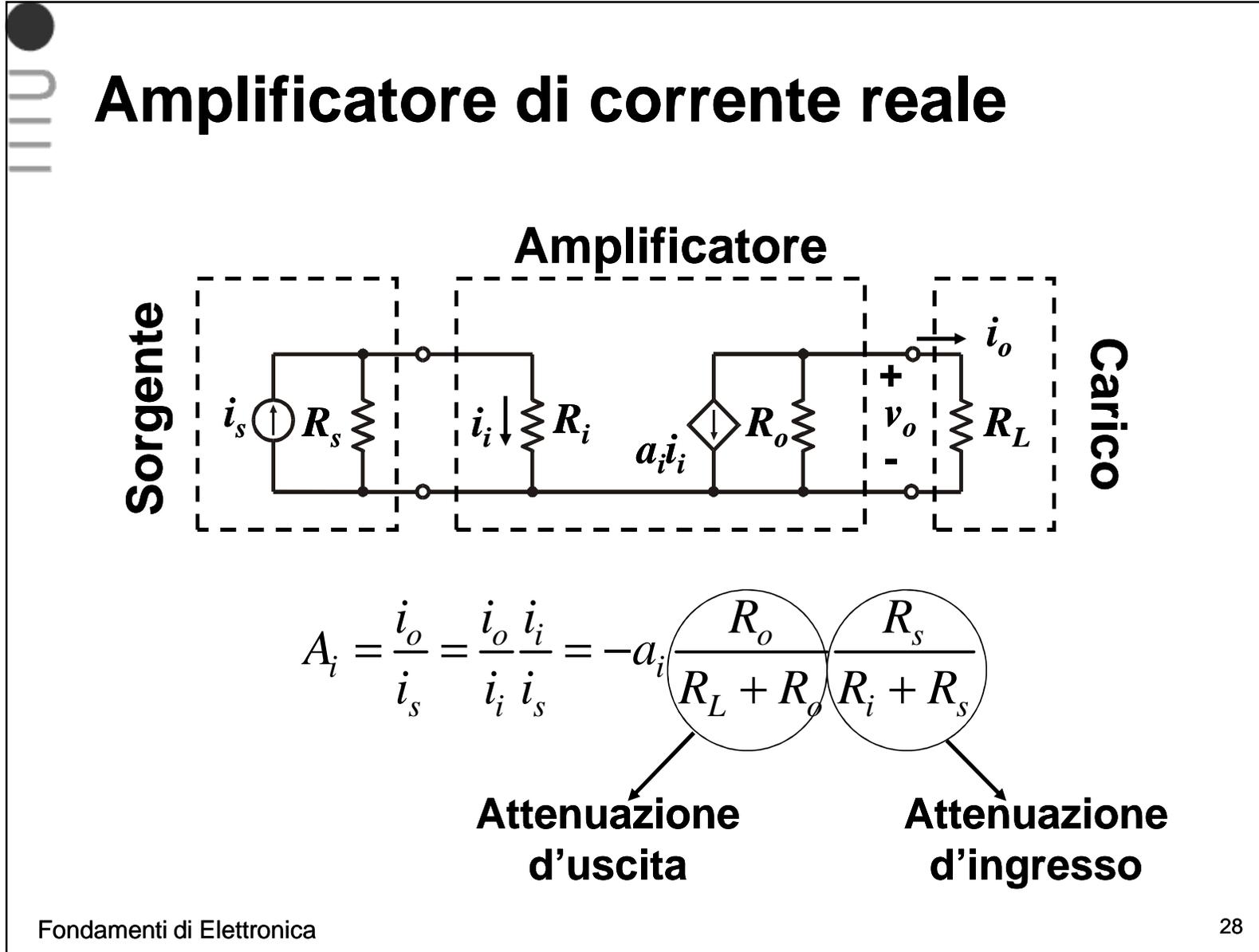
Attenuazione  
d'uscita

Attenuazione  
d'ingresso

## Amplificatore di tensione reale

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = a_v \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{R_i}{R_i + R_s} \leq a_v$$

**$A_v = a_v$  solo se  $R_o=0$  e  $R_i \rightarrow \infty$**

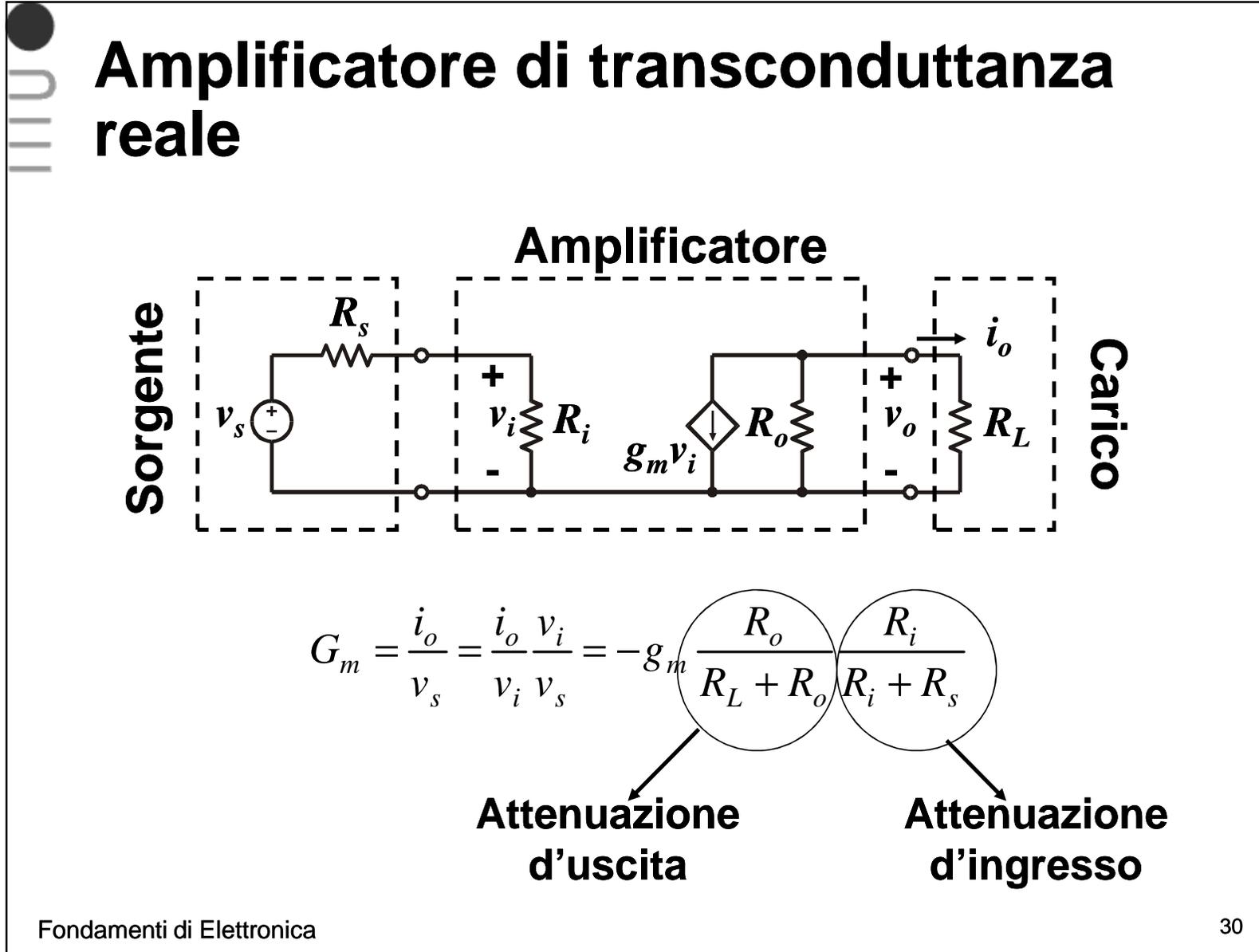




## Amplificatore di corrente reale

$$A_i = \frac{i_o}{i_s} = \frac{i_o}{i_i} \frac{i_i}{i_s} = -a_i \frac{R_o}{R_L + R_o} \frac{R_s}{R_i + R_s}$$

**$|A_i| = a_i$  solo se  $R_o \rightarrow \infty$  e  $R_i = 0$**

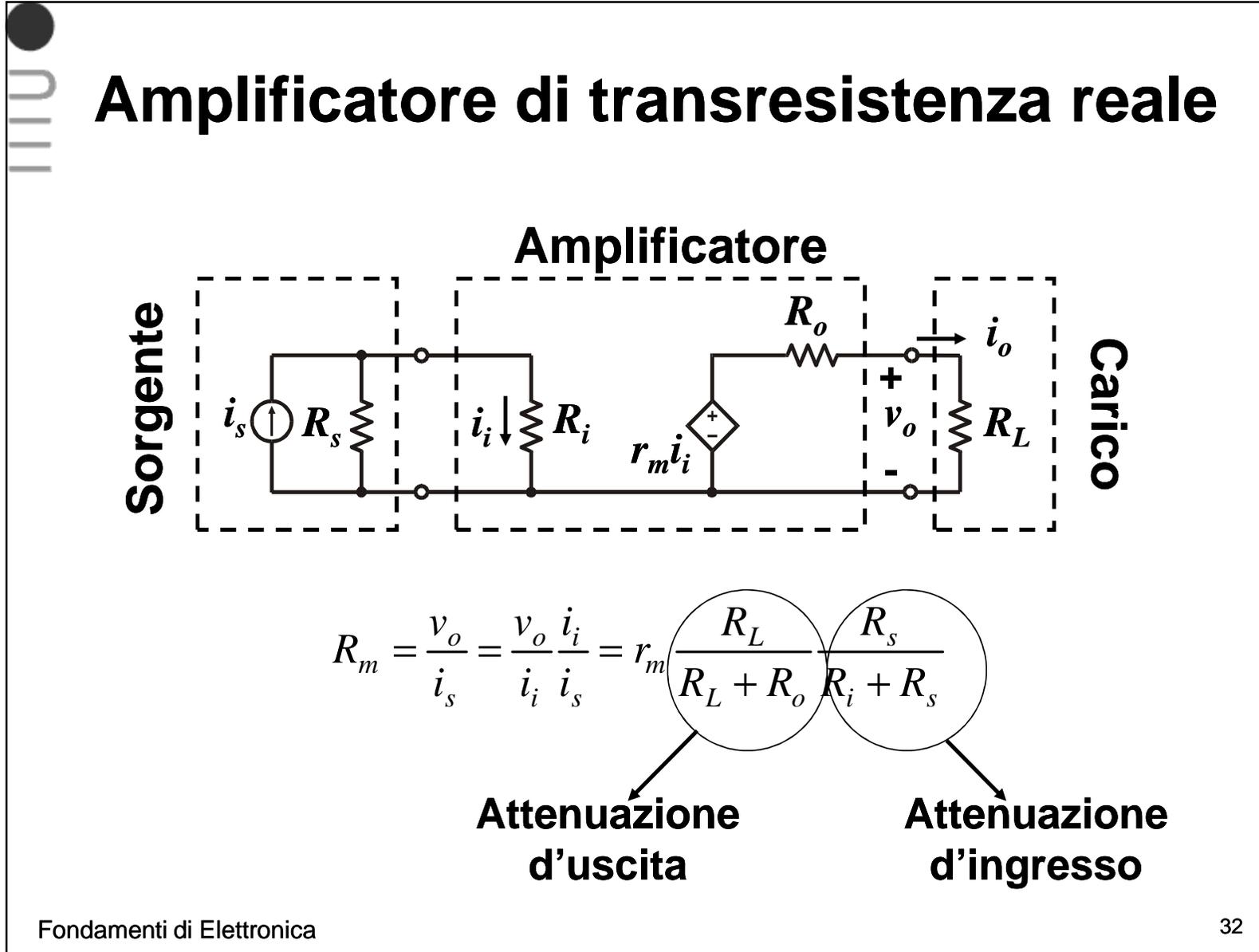




## Amplificatore di transconduttanza reale

$$G_m = \frac{i_o}{v_s} = \frac{i_o}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = -g_m \frac{R_o}{R_L + R_o} \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

$$|G_m| = g_m \text{ solo se } R_o \rightarrow \infty \text{ e } R_i \rightarrow \infty$$

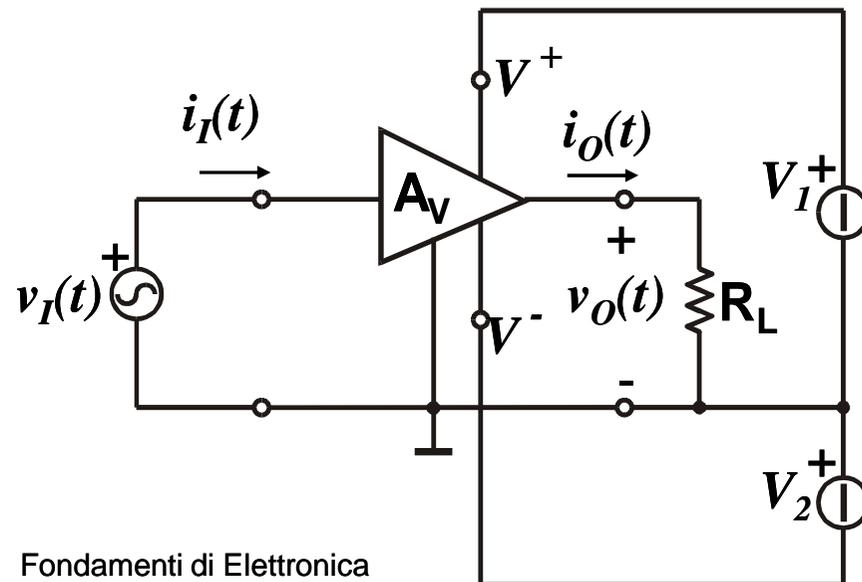
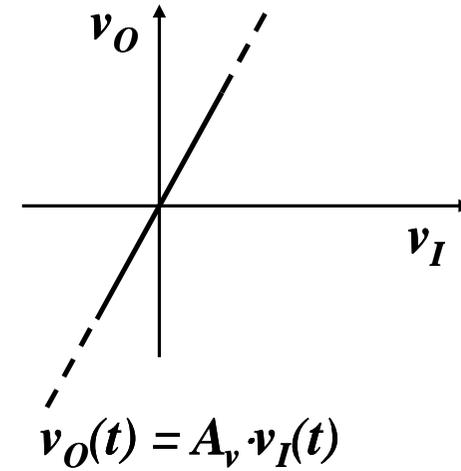
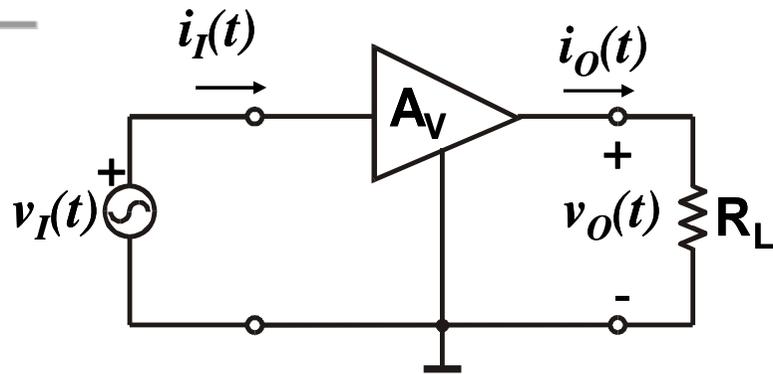


## Amplificatore di transresistenza reale

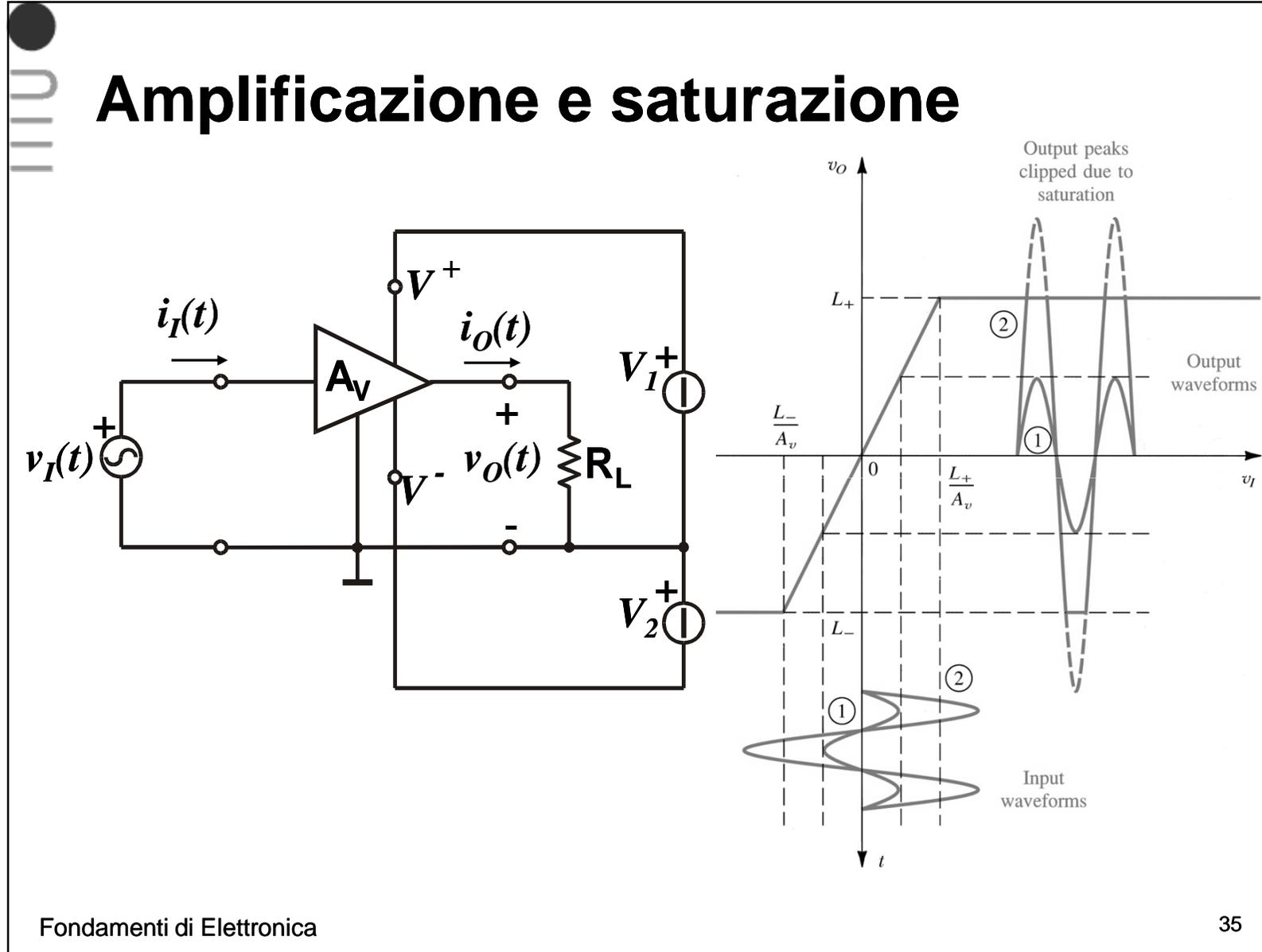
$$R_m = \frac{v_o}{i_s} = \frac{v_o}{i_i} \frac{i_i}{i_s} = r_m \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{R_s}{R_i + R_s}$$

$$R_m = r_m \text{ solo se } R_o = 0 \text{ e } R_i = 0$$

# Amplificazione e saturazione

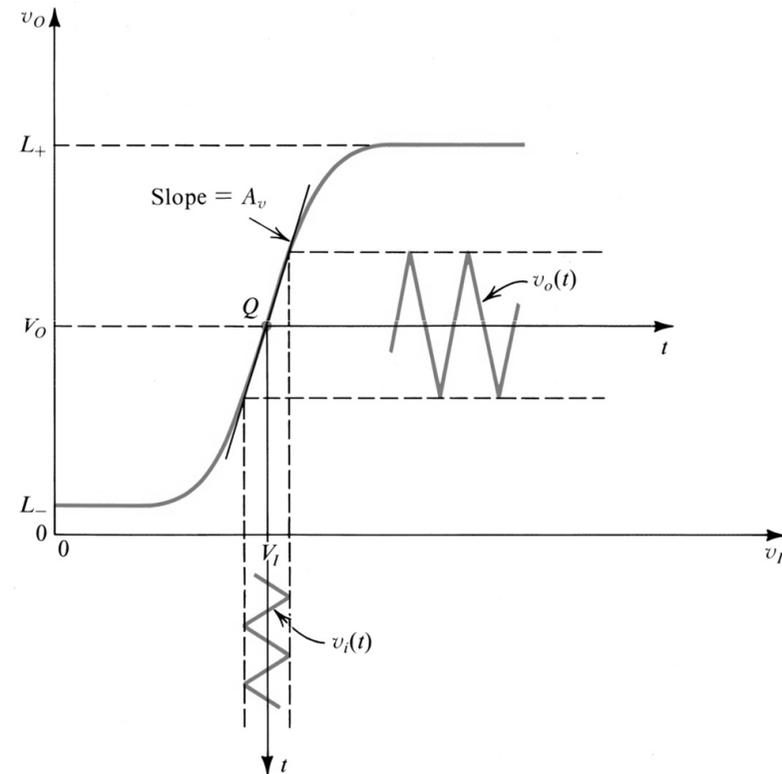
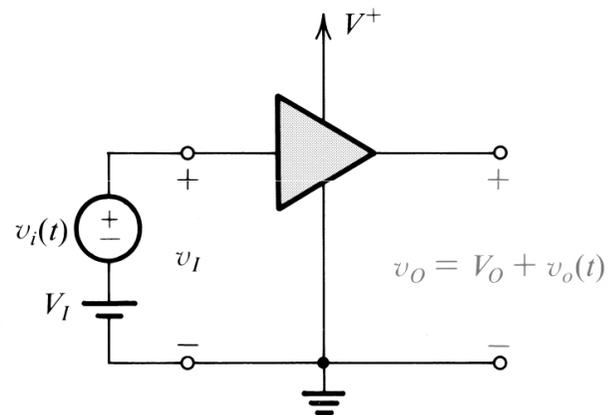


$$-V_2 < v_O(t) < +V_1$$



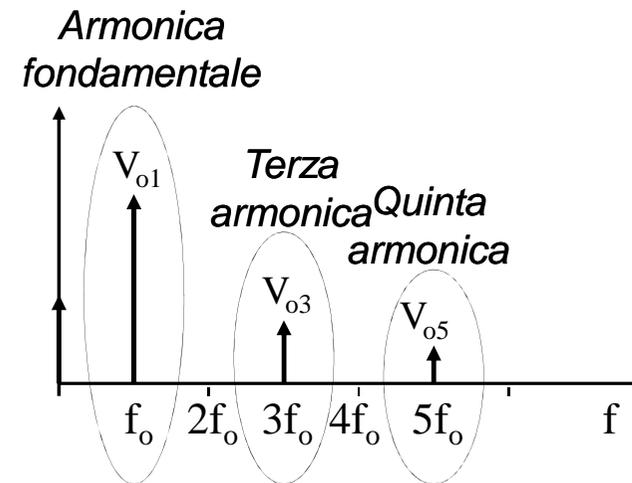
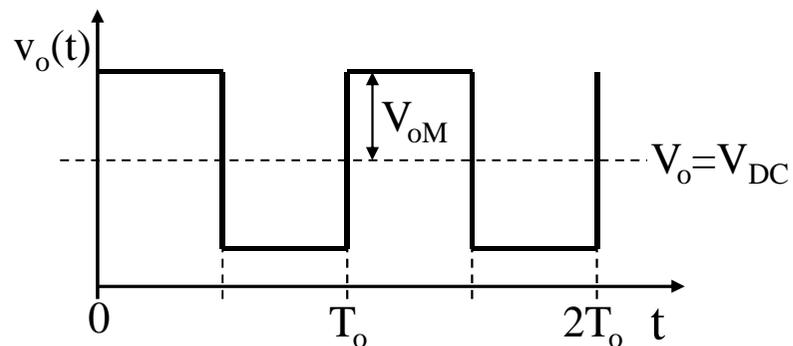


# Linearità e polarizzazione



# Serie di Fourier

## Esempio: onda quadra



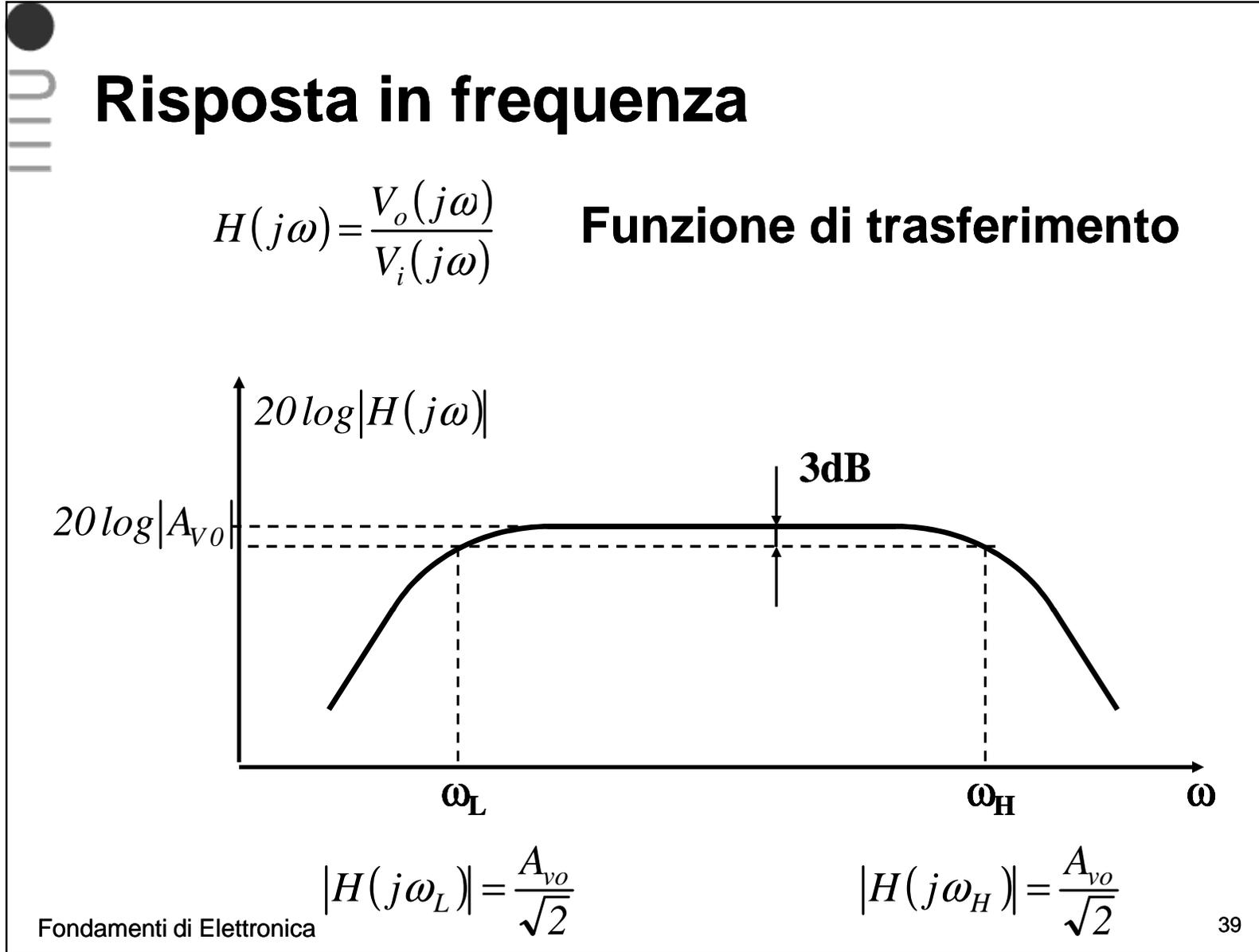
$$v_o(t) = V_{DC} + \frac{4}{\pi} V_{oM} \left( \sin(\omega_o t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_o t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_o t) + \dots \right)$$

$$\omega_o = \frac{2\pi}{T_o} = 2\pi f_o$$



## Frequenze di segnali comuni

- Suoni udibili: 20 Hz – 20 kHz
- Segnale videoTV banda base: 0 – 4.5 MHz
- Radio FM: 88 – 108 MHz
- Televisione VHF (Canali 2-6): 54 – 88 MHz
- Televisione VHF (Canali 7-13): 174 – 216 MHz
- Com. marittime e governative: 216 – 450 MHz
- Televisione UHF (Canali 7-13): 470 – 860 MHz
- Telefoni cellulari e wireless: 1710 – 2690 MHz
- TV satellitare: 3.7 – 4.2 GHz





## Tolleranze

Tutti i valori dei componenti elettronici e dei parametri dei dispositivi sono soggetti a variazioni più o meno grandi

$$P_{\text{NOM}}(1 - \varepsilon^-) \leq P \leq P_{\text{NOM}}(1 + \varepsilon^+)$$

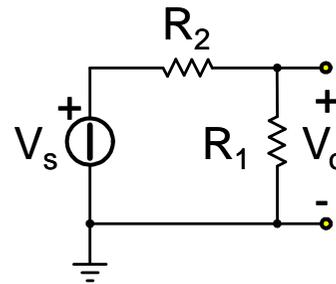
Esempio: resistore con valore nominale di 39 kΩ e *tolleranza di ± 5%*

$$R_{\text{MIN}} = R_{\text{NOM}}(1 - \varepsilon) = R_{\text{NOM}}(1 - 0.05) = 37.05 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{MAX}} = R_{\text{NOM}}(1 + \varepsilon) = R_{\text{NOM}}(1 + 0.05) = 40.95 \text{ k}\Omega$$

# Analisi del caso peggiore (worst case)

Esempio: partitore di tensione



$$V_s = 15 \text{ V} \pm 10\%$$

$$V_{s\text{MIN}} = 13.5 \text{ V}, V_{s\text{MAX}} = 16.5 \text{ V}$$

$$R_1 = 18 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

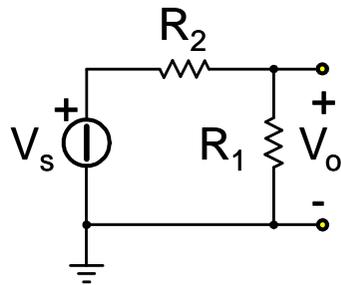
$$R_{1\text{MIN}} = 17.1 \text{ k}\Omega, R_{1\text{MAX}} = 18.9 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 36 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

$$R_{2\text{MIN}} = 34.2 \text{ k}\Omega, R_{2\text{MAX}} = 37.8 \text{ k}\Omega$$

# Analisi del caso peggiore (worst case)

Esempio: partitore di tensione



$$V_{oNOM} = V_{sNOM} \frac{R_{1NOM}}{R_{1NOM} + R_{2NOM}} = 5 \text{ V}$$

$$V_o = V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_s \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{oMIN} = V_{sMIN} \frac{1}{1 + \frac{R_{2MAX}}{R_{1MIN}}} = 4.20 \text{ V} \\ V_{oMAX} = V_{sMAX} \frac{1}{1 + \frac{R_{2MIN}}{R_{1MAX}}} = 5.87 \text{ V} \end{array} \right.$$

$$\varepsilon^+ = \frac{V_{oMAX} - V_{oNOM}}{V_{oNOM}} = 0.174$$

$$\varepsilon^- = \frac{V_{oNOM} - V_{oMIN}}{V_{oNOM}} = 0.16$$



## Coefficiente di temperatura

I parametri dei componenti elettronici variano con la temperatura. Esempio:

$$P(T) = P_{\text{NOM}} (1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2) \quad P_{\text{NOM}} = P(T_{\text{NOM}}) \quad \Delta T = T - T_{\text{NOM}}$$

Per ciascun componente elettronico esiste un intervallo di temperatura definito all'interno del quale viene garantito il comportamento corretto del componente stesso

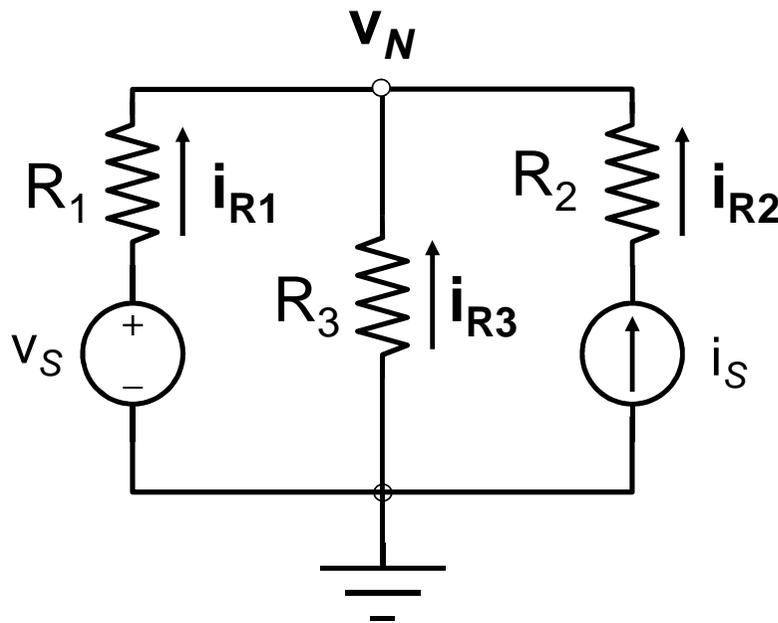
Esempio: componenti commerciali  $T \in [0, +70^\circ\text{C}]$   
componenti militari  $T \in [-55^\circ\text{C}, +85^\circ\text{C}]$



## Esercizi proposti

Risolvere il circuito di figura (determinare:  $i_{R1}$ ,  $i_{R2}$ ,  $i_{R3}$ ,  $v_N$ ).

DATI:  $R_1=1\text{k}\Omega$ ,  $R_2=2\text{k}\Omega$ ,  $R_3=3\text{k}\Omega$ ,  $v_S=10\text{V}$ ,  $i_S=5\text{mA}$



**Risolvere il circuito  
utilizzando diverse  
metodologie:**

- 1) **Kirchhoff**
- 2) **Sovrapp. Effetti**
- 3) **Equival. Thevenin**
- 4) **Equival. Norton**

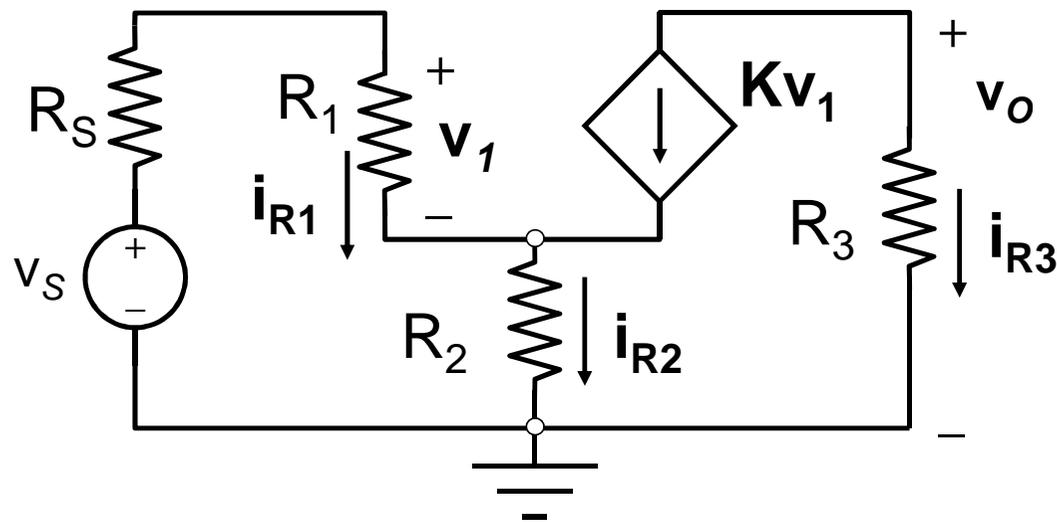
$$i_{R1} = -1.25 \text{ mA}, i_{R2} = 5 \text{ mA}, i_{R3} = -3.75 \text{ mA}, v_N = 11.25 \text{ V}$$



## Esercizi proposti

Risolvere il circuito di figura (determinare:  $i_{R1}$ ,  $i_{R2}$ ,  $i_{R3}$ ,  $v_O$ ).

DATI:  $R_S=1k\Omega$ ,  $R_1=1k\Omega$ ,  $R_2=2k\Omega$ ,  $R_3=3k\Omega$ ,  $v_S=5V$ ,  $K=100mS$



$$i_{R1}=24.5 \mu A, i_{R2}=2.476 mA, i_{R3}=-2.451 mA, v_O=-7.35 V$$