



# Strumentazione Elettronica di Misura

Luca Mari, Vittorio Ferrari

A.A. 2002/03

Vittorio Ferrari  
Università degli Studi di Brescia  
[vittorio.ferrari@unibs.it](mailto:vittorio.ferrari@unibs.it)

# Introduzione

## Elettronica

- Scienza e tecnologia che riguarda lo studio e le applicazioni del moto di cariche (tipicamente elettroni) nei **materiali** (non solo metalli).
- In elettronica il moto di cariche (corrente elettrica) è utilizzato per acquisire, elaborare, memorizzare e trasferire **informazione...**  
...non **energia**

## Informazione e Segnali

- **Informazione:** in senso generale è identificabile come “il contenuto di un messaggio” trasferito da un soggetto ad un altro.
- **Segnale:** l'evoluzione della grandezza fisica che supporta informazione. Generalmente è una dipendenza di una grandezza dal tempo o da un'altra grandezza.

## Strumentazione Elettronica di Misura

- Dispositivi, sistemi e apparati che utilizzano l'elettronica per misurare...
  - ◆ grandezze elettriche (per es. tensione o corrente)
  - ◆ grandezze non elettriche, mediante opportuni **trasduttori**
- **Misurazione:** determinazione sperimentale del valore di una grandezza.
- **Misura:** risultato numerico di una misurazione.

## Misurazione e Informazione

- La misurazione è un processo che ha lo scopo di acquisire e “estrarre” **informazione** dall’oggetto o sistema misurato.
- Uno strumento di misura è una macchina che **preleva** in ingresso informazione dal mondo fisico, **tratta** tale informazione e la **presenta** in uscita sotto forma di misure.



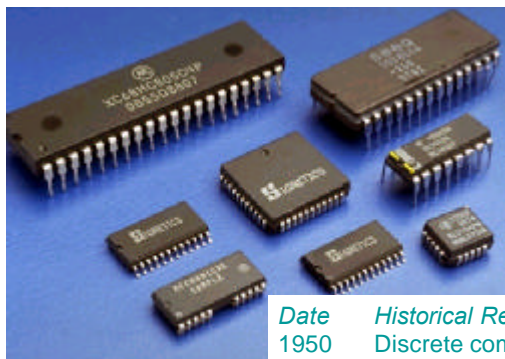
## Elettronica e Strumentazione di Misura

- **Elettronica**, in quanto tecnologia **oggi** più efficiente ed economica per la gestione dell’informazione...
  - ...e **Strumentazione di Misura**, in quanto intrinsecamente dedicata a acquisire e trattare informazione assicurandone la miglior “qualità” possibile...
  - ...sono ambiti e discipline strettamente legate
- ⇒ **Strumentazione Elettronica di Misura**



## Circuiti Integrati (IC)

- Molti componenti integrati nello stesso "chip"

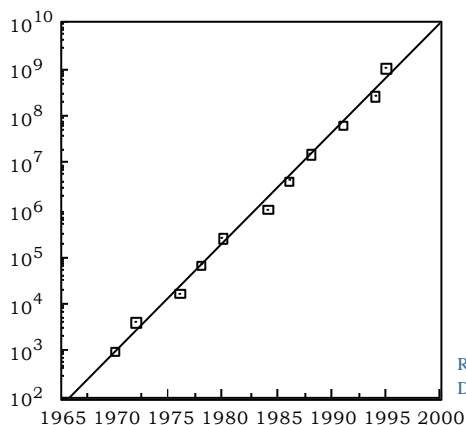


© 1999-2001 Dr. M. Kovács Vajna

Date	Historical Reference	Components/chip
1950	Discrete components	1-2
1960	SSI - Small-scale Integration	$< 10^2$
1966	MSI - Medium-scale integration	$10^2 - 10^3$
1969	LSI - Large-scale integration	$10^3 - 10^4$
1975	VLSI - Very-large-scale integration	$10^4 - 10^9$
1990	ULSI - Ultra-large-scale integration	$> 10^9$

## Legge di Moore

- Gordon Moore ('60): "Il numero dei transistori in un circuito integrato raddoppia ogni 18 mesi"



R.C.Jaeger "Microelectronic Circuit Design" McGraw-Hill 1996

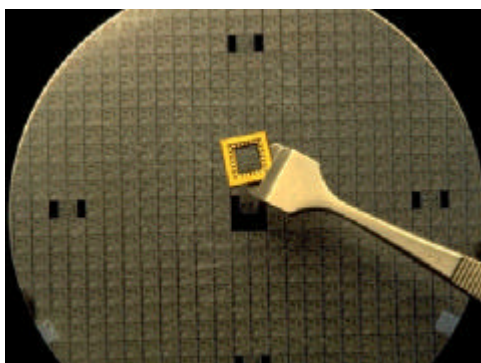
Figure 1.2 - Memory chip density as a function of time based upon first paper presentation at the IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)

## Tecnologie Microelettroniche

- Utilizzo di materiali semiconduttori
- Progetto assistito dal calcolatore (CAD)
- Miniaturizzazione spinta
- Produzione automatizzata su grandi volumi

		IIIA	IVA	VA	VIA
	5	10.811 <b>B</b> Boron	12.01115 <b>C</b> Carbon	14.0067 <b>N</b> Nitrogen	15.9994 <b>O</b> Oxygen
	13	26.9815 <b>Al</b> Aluminum	28.086 <b>Si</b> Silicon	30.9738 <b>P</b> Phosphorus	32.064 <b>S</b> Sulfur
<b>IIIB</b>	30	65.37 <b>Zn</b> Zinc	69.72 <b>Ga</b> Gallium	72.59 <b>Ge</b> Germanium	74.922 <b>As</b> Arsenic
	48	112.40 <b>Cd</b> Cadmium	114.82 <b>In</b> Indium	118.69 <b>Sn</b> Tin	121.75 <b>Sb</b> Antimony
	80	200.59 <b>Hg</b> Mercury	204.37 <b>Tl</b> Thallium	207.19 <b>Pb</b> Lead	208.980 <b>Bi</b> Bismuth
					84 <b>Po</b> Polonium (210)

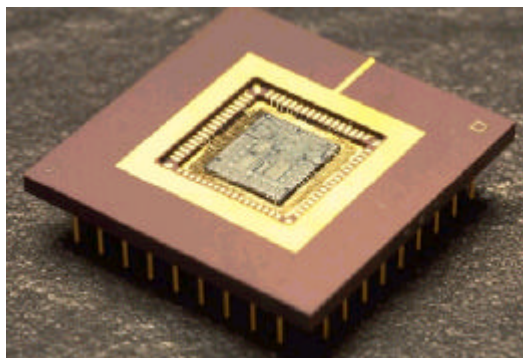
R.C.Jaeger "Microelectronic Circuit Design" McGraw-Hill 1996



© 1999-2001 Dr. M. Kovács Vajra

## Un esempio emblematico: i Microprocessori

- IC programmabili, in grado di compiere milioni di operazioni al secondo (OPS)
- Il "cuore" di un computer in un singolo chip



© 1999-2001 Dr. M. Kovács Vajra

## Evoluzione dei Microprocessori

- Prestazioni ↑ ; Costo ↓

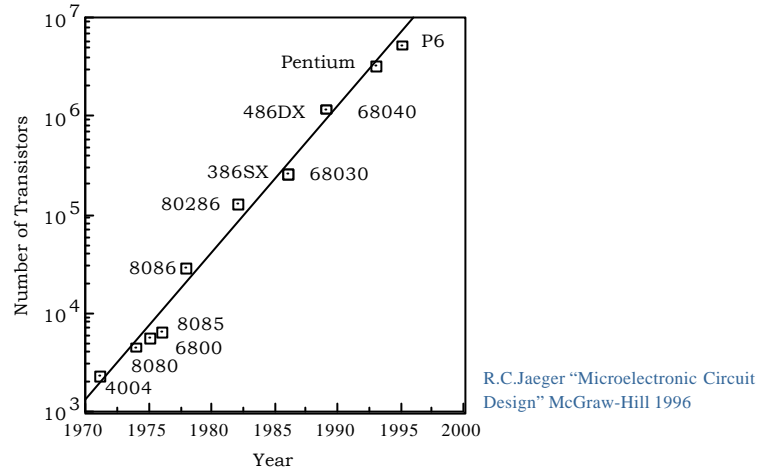


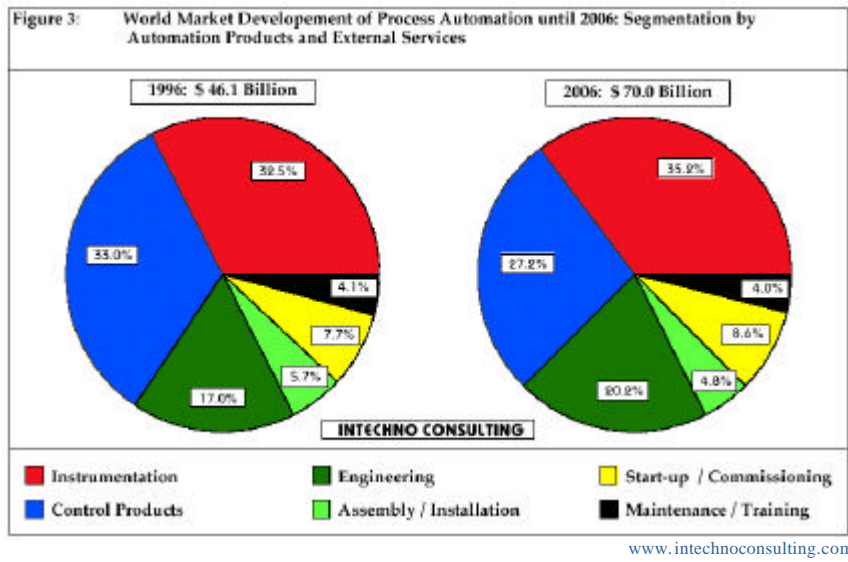
Figure 1.3 - Microprocessor complexity versus time

## Il Panorama dell'Elettronica

- **I settori:**
  - ◆ Informatica
  - ◆ Telecomunicazioni
  - ◆ Intrattenimento (*consumer*)
  - ◆ **Strumentazione di Misura e Controllo**
  - ◆ Industria (materie prime, prodotti, servizi)
  - ◆ Ambiente
  - ◆ Bio-medicale
  - ◆ ...
- **Le tendenze:**
  - ◆ Più enfasi su SW che su HW
  - ◆ Programmabilità e componenti *smart*
  - ◆ Connettività in rete (*field bus, wireless*)
  - ◆ Sistemi con intelligenza *embedded*
  - ◆ Sistemi micro-elettro-meccanici (MEMS)
  - ◆ ...



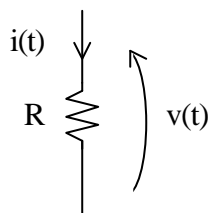
## La Strumentazione nell'Automazione di Processo



# Componenti e Circuiti

## Resistore

- Resistore = componente
- Resistenza = grandezza elettrica associata
- Legge di componente di un resistore ideale (legge di Ohm):



$$v(t) = R \cdot i(t)$$

R = resistenza

$$[R] = \Omega = \text{V/A (ohm=volt/ampere)}$$

$$i(t) = G \cdot v(t)$$

G = conduttanza

$$[G] = \text{S} = \text{A/V (siemens=ampere/volt)}$$

## Resistore

- La legge di componente del resistore deriva dalla legge:

$$J(t) = \sigma \cdot E(t) = \frac{1}{\rho} E(t)$$

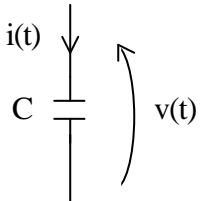
$J$  = densità di corrente (A/m<sup>2</sup>)  
 $E$  = campo elettrico (V/m)  
 $\rho$  = resistività ( $\Omega\text{m}$ ,  $\Omega\text{cm}$ )  
 $\sigma$  = conducibilità (S/m, S/cm)

- $\rho$  e  $\sigma$  sono quantità **specifiche** del conduttore
- $R$  e  $G$  dipendono, in aggiunta, dalla geometria
  - per un filo di sezione  $A$  e lunghezza  $d$

$$R = \rho \cdot \frac{d}{A} \quad G = \sigma \cdot \frac{A}{d}$$

## Condensatore

- Condensatore (capacitore) = componente
- Capacità = grandezza elettrica associata
- Legge di componente di un condensatore ideale:



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

$C$  = capacità  
 $[C] = F = \text{As/V}$  (farad=coulomb/volt)

$$v(t) = \frac{1}{C} \cdot \int_{-\infty}^t i(t') dt' = v(t_0) + \frac{1}{C} \cdot \int_{t_0}^t i(t') dt'$$

## Condensatore

- La legge di componente del condensatore è una riscrittura dalla relazione:

$$Q(t) = C \cdot v(t) \quad \begin{array}{l} Q = \text{carica} \\ [Q] = C \text{ (coulomb=ampere.secondo)} \end{array}$$

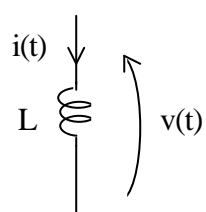
- Per un condensatore a facce piane e parallele di area  $A$  e distanza  $d$ :

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} \quad \begin{array}{l} \varepsilon = \text{permittività dielettrica del} \\ \text{dielettrico (F/ m)} \end{array}$$

- $\varepsilon$  è una quantità **specifica** del dielettrico
- $C$  dipende, in aggiunta, dalla geometria

## Induttore

- Induttore = componente
- Induttanza = grandezza elettrica associata
- Legge di componente di un induttore ideale:



$$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad \begin{array}{l} L = \text{induttanza} \\ [L] = H = \text{Vs/A (henry=weber/ampere)} \end{array}$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_{-\infty}^t v(t') dt' = i(t_0) + \frac{1}{L} \cdot \int_{t_0}^t v(t') dt'$$

## Induttore

- La legge di componente dell'induttore è una riscrittura dalla relazione:

$$\Phi(t) = L \cdot i(t)$$

$\Phi$  = flusso del campo magnetico  
 $[\Phi] = \text{Wb}$  (weber = volt.secondo)

- Per un induttore a bobina di n spire con area A e spessore d:

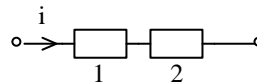
$$L = \mu \cdot n^2 \frac{A}{d}$$

$\mu$  = permittività magnetica del nucleo (H/m)

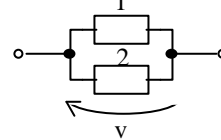
- $\mu$  è una quantità **specific**a del nucleo
- L dipende, in aggiunta, dalla geometria

## Collegamenti Serie e Parallelo

- Serie** ( $\Sigma$ ): stessa corrente



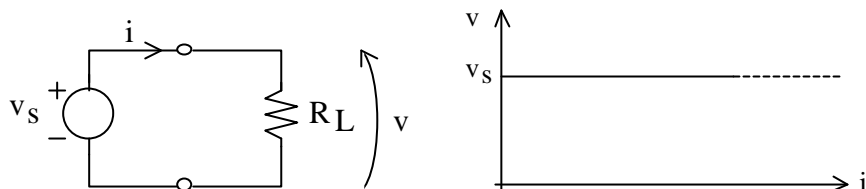
- Parallelo** ( $//$ ): stessa tensione



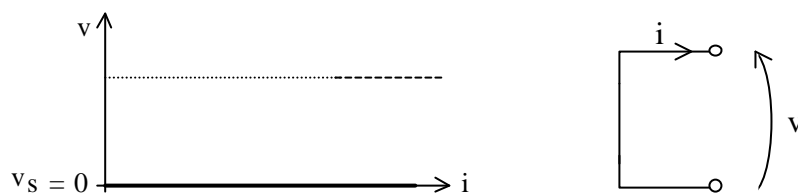
	<b>S</b>	<b>//</b>
<b>R</b>	$R_1 + R_2$	$R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$
<b>C</b>	$C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$	$C_1 + C_2$
<b>L</b>	$L_1 + L_2$	$L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$

## Generatore Ideale di Tensione

- Genera una tensione indipendente dalla corrente, ossia indipendente dalla resistenza di carico  $R_L$

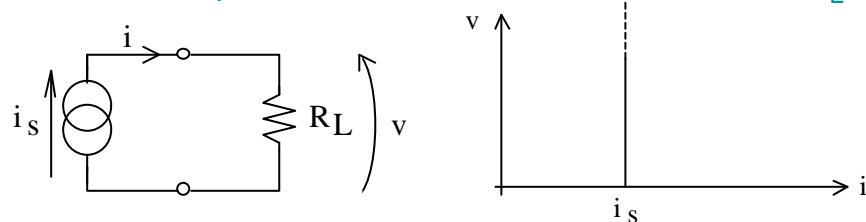


- Un generatore di tensione nulla è un **cortocircuito**

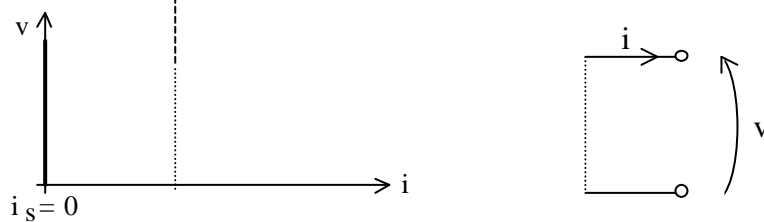


## Generatore Ideale di Corrente

- Genera una corrente indipendente dalla tensione, ossia indipendente dalla resistenza di carico  $R_L$

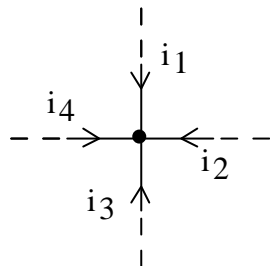


- Un generatore di corrente nulla è un **circuito aperto**



## Legge di Kirchhoff delle Correnti (KCL)

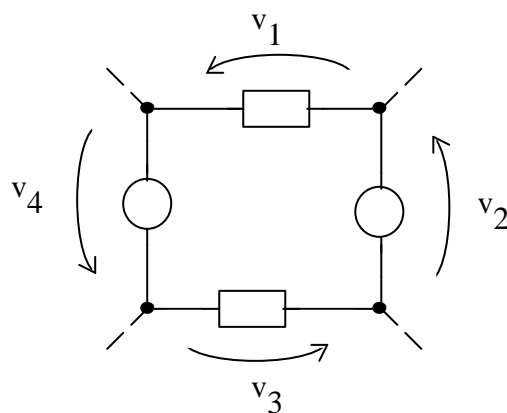
- La somma algebrica delle correnti entranti in un nodo è pari a **zero**



$$\sum_n i_n = 0$$

## Legge di Kirchhoff delle Tensioni (KVL)

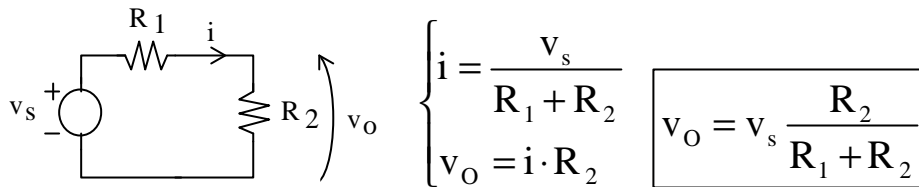
- La somma algebrica delle tensioni attorno a una maglia è pari a **zero**



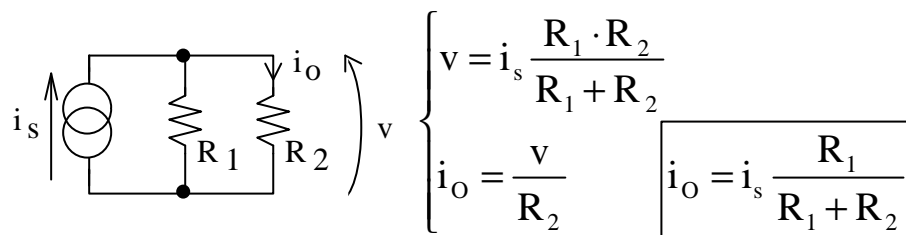
$$\sum_n v_n = 0$$

## Partitori di Tensione e di Corrente

- Partitore di tensione:

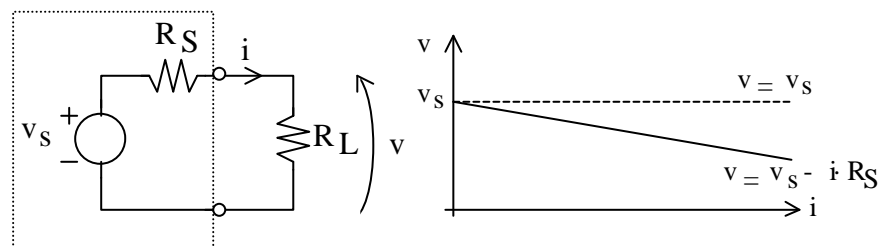


- Partitore di corrente:



## Generatore Reale di Tensione

- Include una resistenza equivalente  $R_s$  in serie detta resistenza **interna** o di **sorgente**

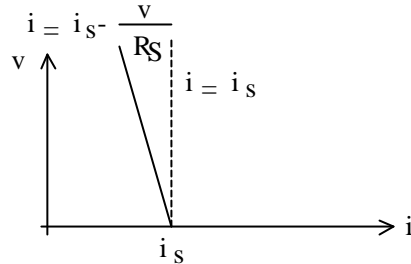
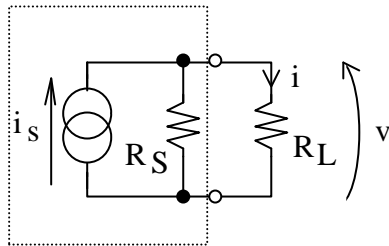


$$\boxed{v = v_s \frac{R_L}{R_s + R_L}} \quad v \rightarrow v_s \text{ per } \begin{cases} R_s \rightarrow 0 & \text{gen. ideale} \\ \text{oppure} \\ R_L \rightarrow \infty & \text{circuito aperto} \end{cases}$$



## Generatore Reale di Corrente

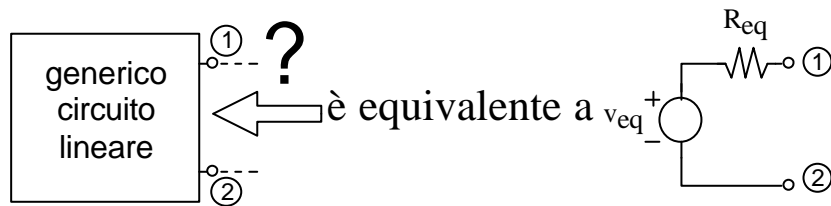
- Include una resistenza equivalente  $R_S$  in parallelo detta resistenza **interna** o di **sorgente**



$$i = i_s \frac{R_S}{R_S + R_L}$$

$i \rightarrow i_s$  per  $\left\{ \begin{array}{l} R_S \rightarrow \infty \text{ gen. ideale} \\ \text{oppure} \\ R_L \rightarrow 0 \text{ cortocircuito} \end{array} \right.$

## Rappresentazione di Thevenin

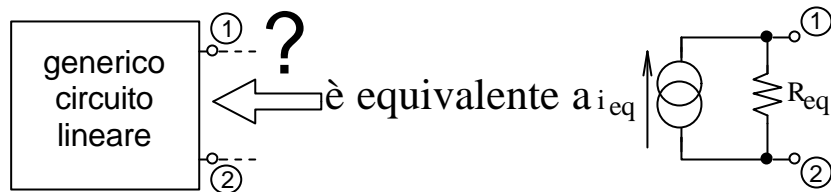


- $v_{eq}$  e  $R_{eq}$  sono determinati nel modo seguente:

$v_{eq}$  = **tensione  $v_{12}$  di circuito aperto (a vuoto)**

$R_{eq}$  = **resistenza equivalente tra 1 e 2 con i generatori spenti**

## Rappresentazione di Norton



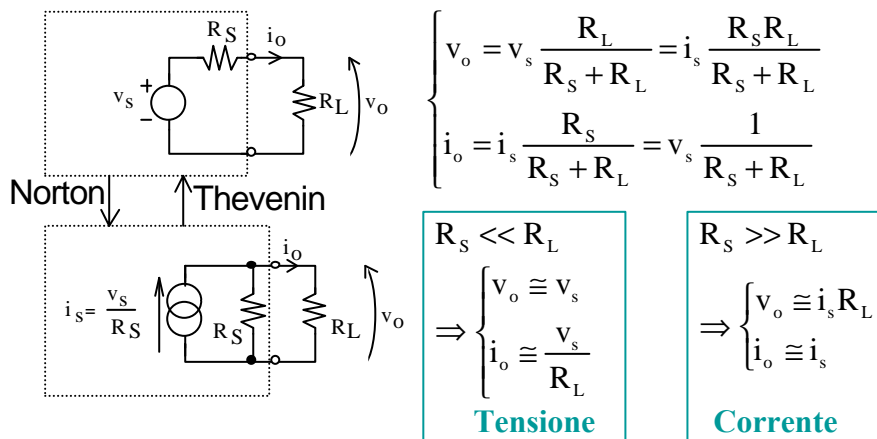
- $i_{eq}$  e  $R_{eq}$  sono determinati nel modo seguente:

$i_{eq}$  = corrente  $i_{12}$  di cortocircuito

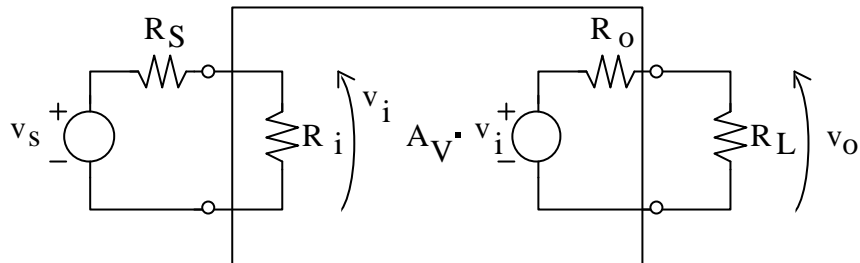
$R_{eq}$  = resistenza equivalente tra 1 e 2  
con i generatori spenti

## Generatore di V o di I ?

- Quando una sorgente può essere considerata un generatore di Tensione e quando di Corrente?



## Generatore di Tensione comandato in Tensione



- $A_V$  numero puro;  $[A_V] = V/V$

$$v_o = v_s \cdot \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot A_V \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

## Linearità e PSE

- I componenti R, C, L, generatori (indipendenti e comandati) combinati in reti rette da KCL e KVL danno luogo a **circuiti lineari**
- Principio di Sovrapposizione degli Effetti (PSE):



- ◆ 1) Somma:

$$\begin{aligned} y_{1+2}(t) &= F[x_1(t) + x_2(t)] = \\ &= F[x_1(t)] + F[x_2(t)] \\ &= y_1(t) + y_2(t) \end{aligned}$$

- ◆ 2) Prodotto per una costante:

$$y_k(t) = F[K \cdot x(t)] = K \cdot F[x(t)] = K \cdot y(t)$$