



Strumentazione Elettronica di Misura

Luca Mari, Vittorio Ferrari

A.A. 2002/03

Vittorio Ferrari
Università degli Studi di Brescia
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.

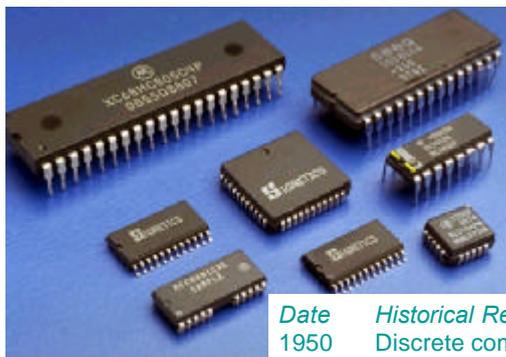


Elettronica e Strumentazione di Misura

- **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"

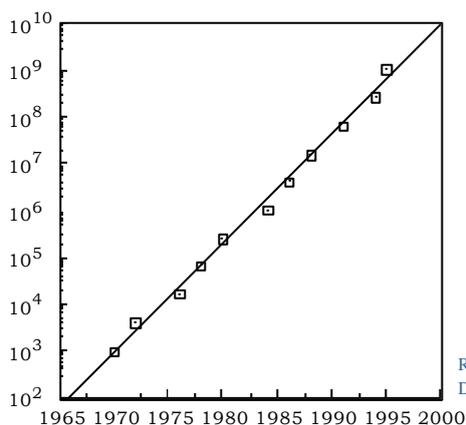


© 1999-2001 Dr. M. Kovács Vajna

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

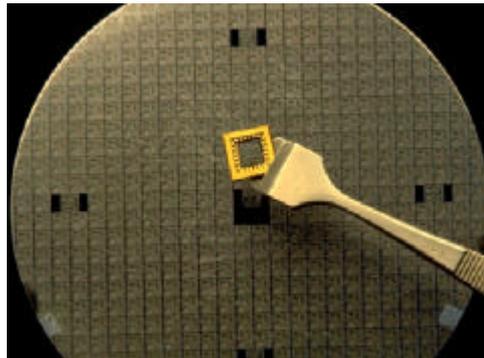
Figure 1.2 - Memory chip density as a function of time based upon first paper presentation at the IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)

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

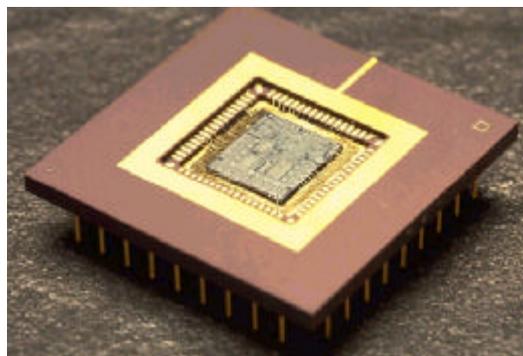
R.C.Jaeger "Microelectronic Circuit Design" McGraw-Hill 1996



© 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 ↓

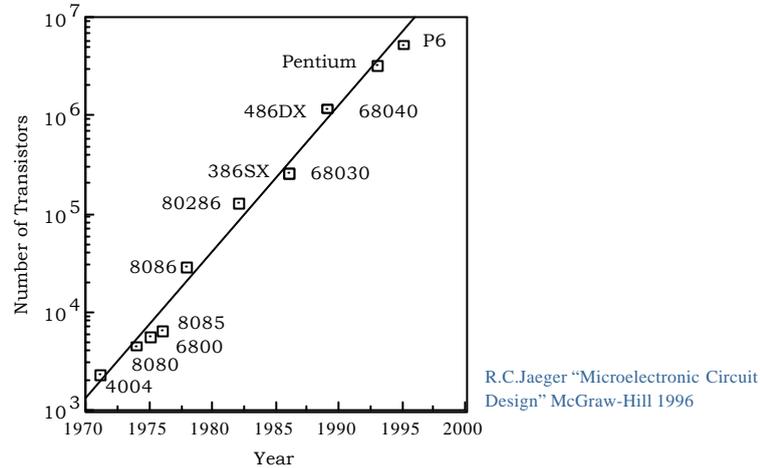
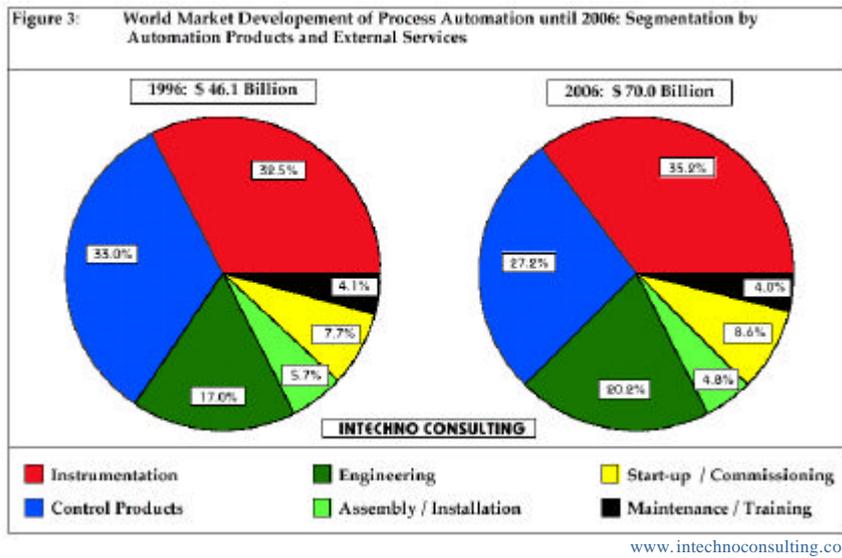


Figure 1.3 - Microprocessor complexity versus time

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)
 - ◆ ...

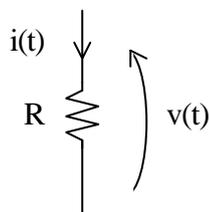
La Strumentazione nell'Automazione di Processo



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:

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

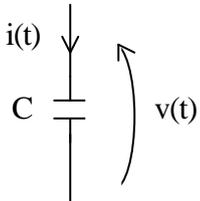
J = densità di corrente (A/m²)
 E = campo elettrico (V/m)
 ρ = resistività (Ωm , Ωcm)
 σ = conducibilità (S/m, S/cm)

- ρ e σ 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:

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

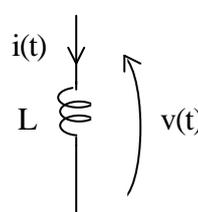
- Per un condensatore a facce piane e parallele di area A e distanza d :

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

- ε 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:

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

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

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

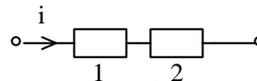
$$L = \mu \cdot n^2 \frac{A}{d}$$

μ = permittività magnetica del nucleo (H/m)

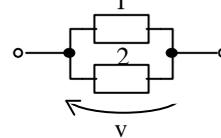
- μ è una quantità **specific**a del nucleo
- L dipende, in aggiunta, dalla geometria

Collegamenti Serie e Parallelo

- Serie** (Σ): stessa corrente



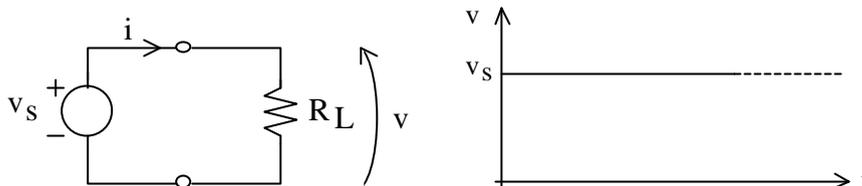
- Parallelo** ($//$): stessa tensione



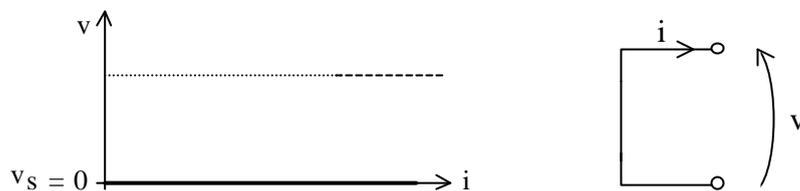
	S	//
R	$R_1 + R_2$	$R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$
C	$C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$	$C_1 + C_2$
L	$L_1 + L_2$	$L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$

Generatore Ideale di Tensione

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

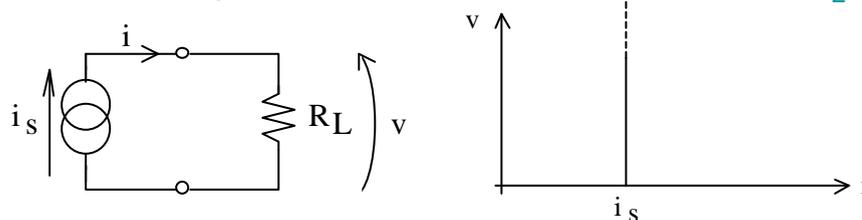


- Un generatore di tensione nulla è un **cortocircuito**

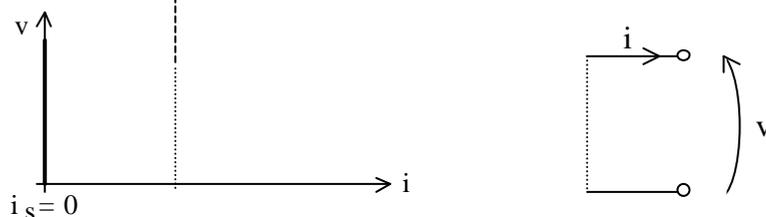


Generatore Ideale di Corrente

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

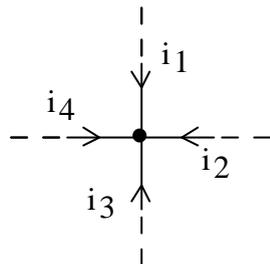


- Un generatore di corrente nulla è un **circuito aperto**



Legge di Kirchhoff delle Correnti (KCL)

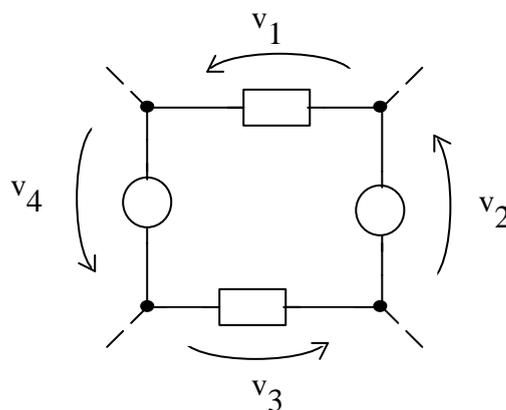
- La somma algebrica delle correnti entranti in un nodo è pari a **zero**



$$\sum_n i_n = 0$$

Legge di Kirchhoff delle Tensioni (KVL)

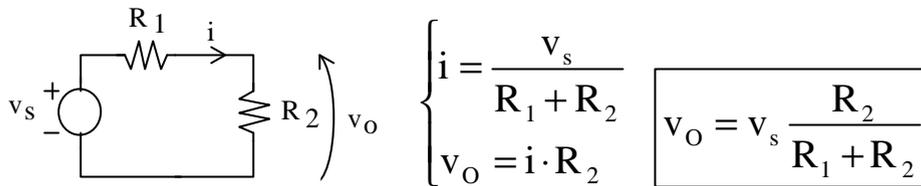
- La somma algebrica delle tensioni attorno a una maglia è pari a **zero**



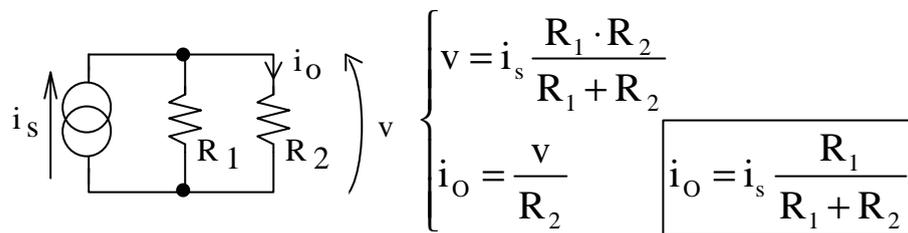
$$\sum_n v_n = 0$$

Partitori di Tensione e di Corrente

- Partitore di tensione:

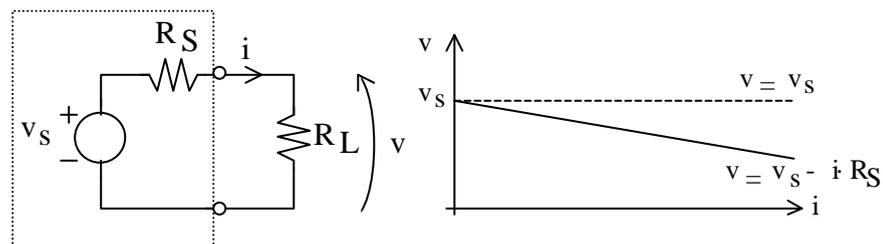


- Partitore di corrente:



Generatore Reale di Tensione

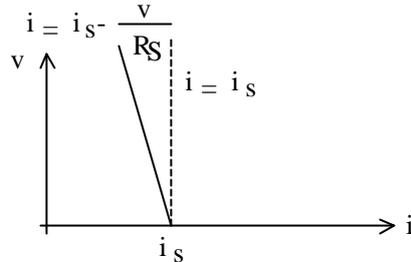
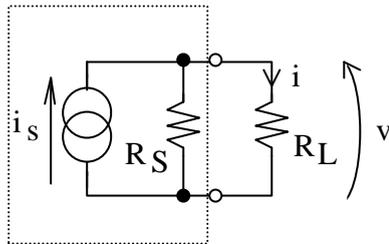
- Include una resistenza equivalente R_s in serie detta resistenza **interna** o di **sorgente**



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

Generatore Reale di Corrente

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

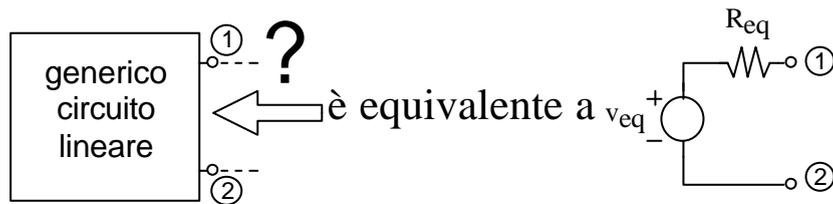


$$i = i_s \frac{R_S}{R_S + R_L}$$

$i \rightarrow i_s$ per

- $R_S \rightarrow \infty$ **gen. ideale**
- oppure
- $R_L \rightarrow 0$ **cortocircuito**

Rappresentazione di Thevenin

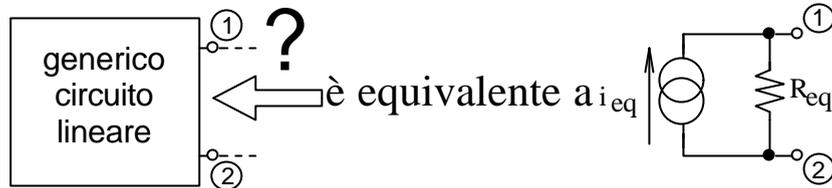


- v_{eq} e R_{eq} sono determinati nel modo seguente:

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



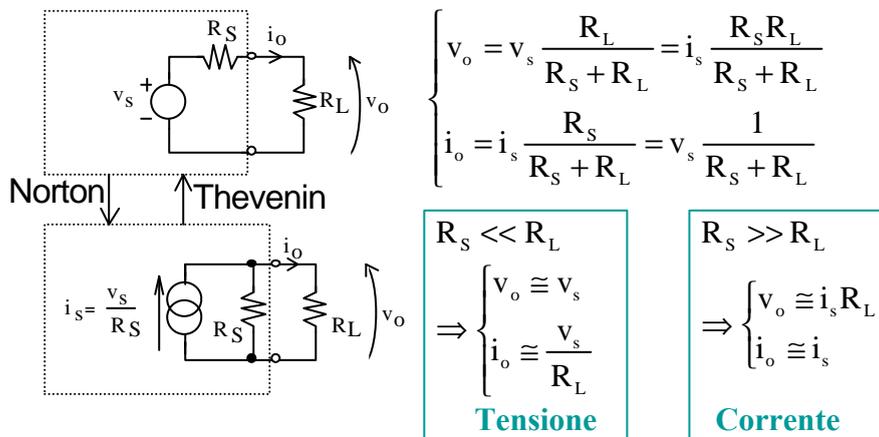
- i_{eq} e R_{eq} sono determinati nel modo seguente:

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

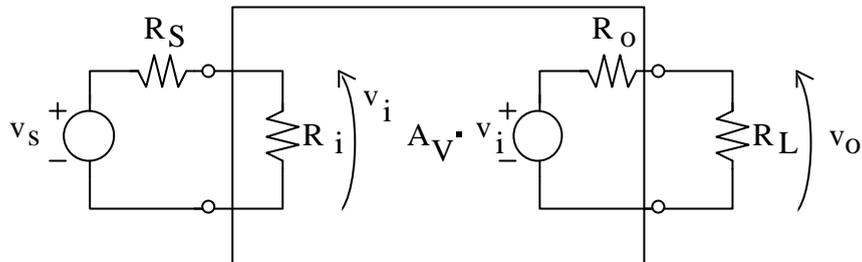
R_{eq} = resistenza equivalente tra 1 e 2
con i generatori spenti

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:

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