



Facoltà di Ingegneria
Università degli studi di Pavia

Corso di Laurea Triennale in
Ingegneria Elettronica e Informatica

Campi Elettromagnetici e Circuiti I

Concetti Fondamentali

Sommario

- Unità di misura
- Carica elettrica
- Corrente elettrica
- Tensione
- Potenza ed energia
- Elementi circuitali

Unità di misura

Necessità di un linguaggio comune



Unità di misura

Necessità di un linguaggio comune

Definizione di uno *standard*:

Sistema Internazionale (SI)

definito dalla Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure nel 1960

Sistema Internazionale (SI)

<i>Grandezza</i>	<i>Unità fondamentale</i>	<i>Simbolo</i>
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Tempo	secondo	s
Corrente elettrica	ampere	A
Temperatura assoluta	kelvin	K
Intensità luminosa	candela	cd

<i>Fattore</i>	<i>Prefisso</i>	<i>Simbolo</i>
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	chilo	k
10^2	etto	h
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Unità di misura

Nonostante ciò:

Loss of Mars Climate Orbiter

Mars Climate Orbiter (MCO) was launched on 11 December 1998 on a mission to orbit Mars as the first interplanetary weather satellite and to provide a communications relay for another spacecraft, the Mars Polar Lander. MCO was lost on 23 September 1999 when it failed to enter an orbit around Mars, instead crashing into the planet, destroying the \$125 million craft, part of a \$328 million mission.

Why it happened?

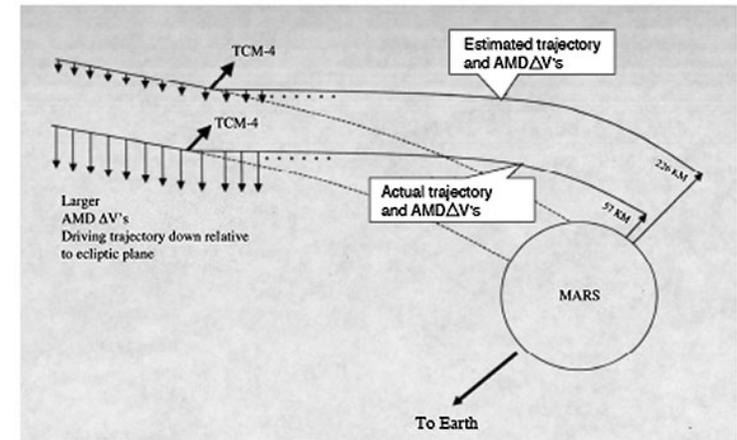
The root cause of the failure was a computer program that was supposed to provide its **output in newton seconds (N·s)** but instead provided **pound-force seconds (lbf·s)**.

(For details: ftp://ftp.hq.nasa.gov/pub/pao/reports/1999/MCO_report.pdf).

The other half of the mission — Mars Polar Lander — also crashed into the surface of Mars due to a computer program bug, but that incident was not related to measurement.

Altri casi curiosi: <http://lamar.colostate.edu/~hillger/unit-mixups.html>

Schematic MCO Encounter Diagram
Not to scale



Unità di misura

Qualunque risultato non accompagnato dall'unità di misura può essere soggetto ad un errore di interpretazione

Fanno ovviamente eccezione i numeri puri

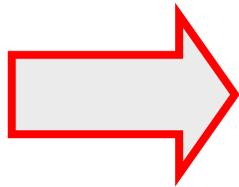
Lo “0” è l'unico numero che non ha bisogno di unità di misura

Carica elettrica

La carica è una proprietà delle particelle che costituiscono la materia

Legge di conservazione della carica

La carica elettrica non si può creare né distruggere, ma solo trasferire



La carica elettrica totale di un sistema isolato non può variare

Si misura in **coulomb** (C) in onore di Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806)

Carica elettrica

Esistono sia particelle con carica positiva (protoni) che particelle con carica negativa (elettroni):

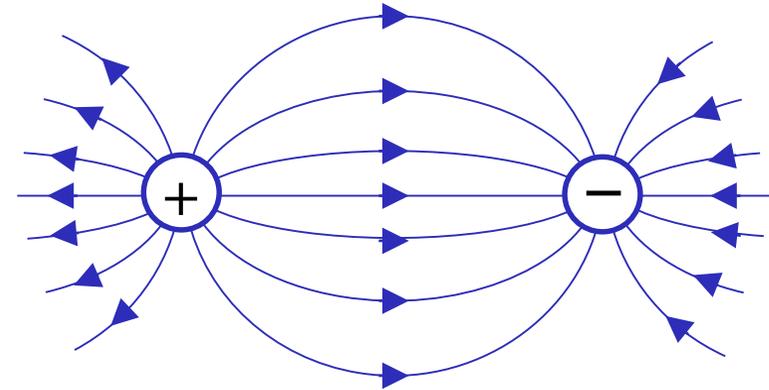
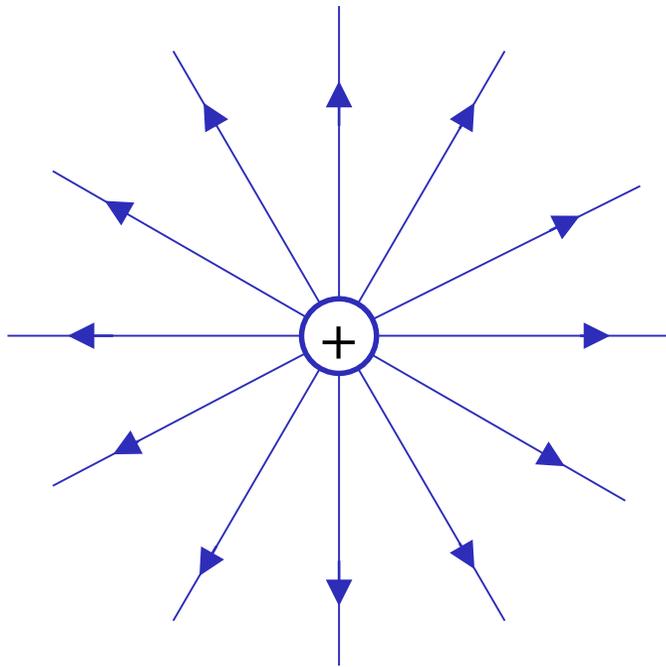
carica dell'elettrone: $e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

carica del protone: $-e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

La quantizzazione della carica elettrica è stata dimostrata da Millikan nel 1909.

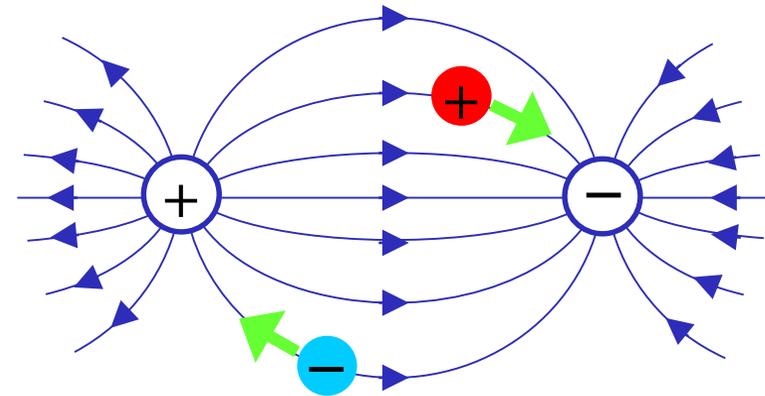
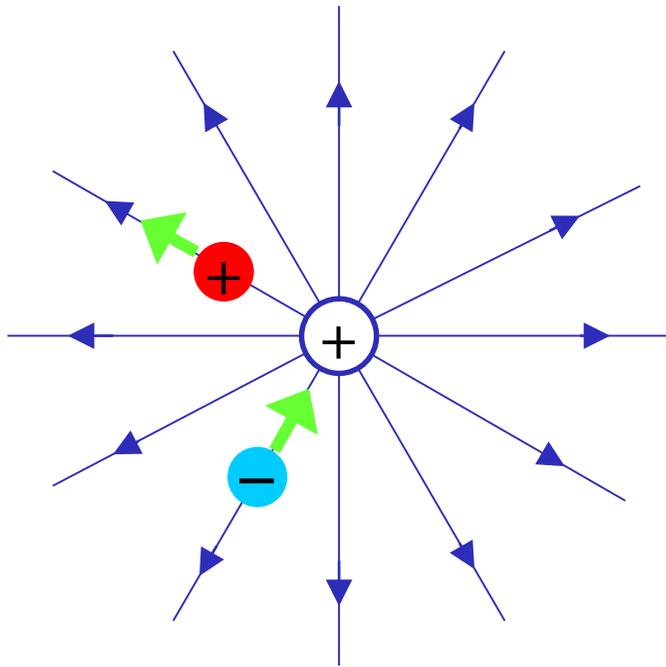
Campo elettrico

La presenza di cariche elettriche determina una perturbazione dello spazio circostante, denominata **campo elettrico**



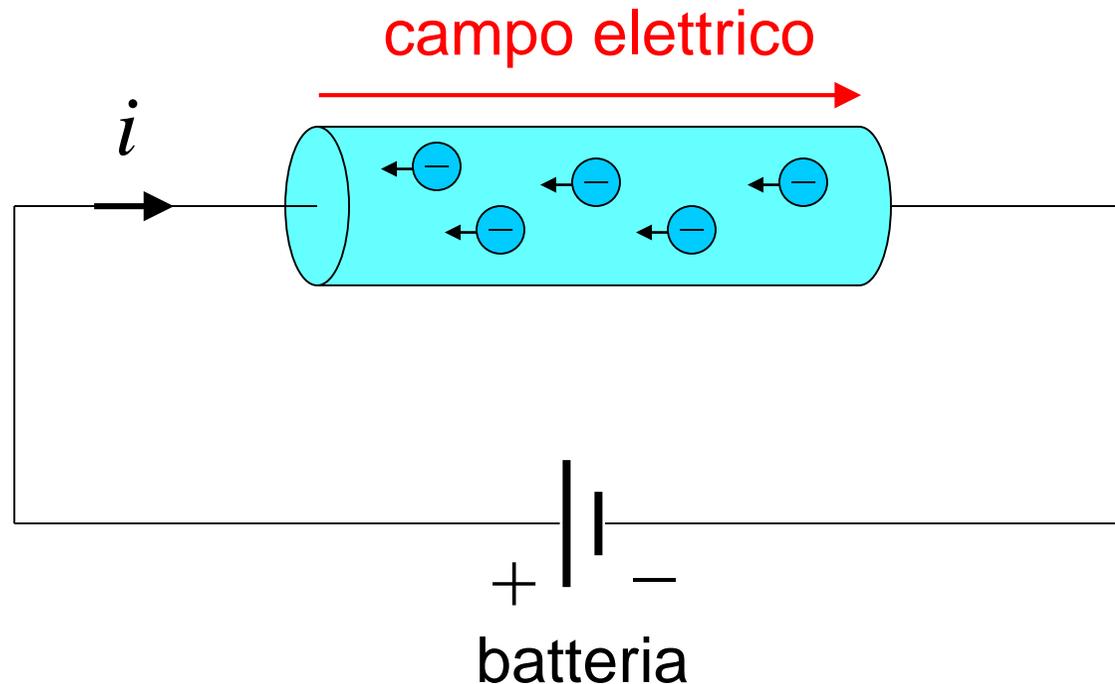
Campo elettrico

Il campo elettrico esercita una forza sulle particelle cariche mettendole in movimento



Corrente elettrica

La corrente elettrica è dovuta al movimento ordinato delle cariche elettriche in presenza della forza esercitata da un campo elettrico



Corrente elettrica

La corrente elettrica è la velocità di variazione nel tempo della carica elettrica

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \longrightarrow \quad q = \int_{t_0}^t i dt$$

La corrente i si misura in **ampere** (A) in onore di André-Marie Ampère (1775-1836)

Corrente elettrica

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Se i non varia nel tempo

→ corrente stazionaria o continua

Se i varia nel tempo sinusoidalmente

→ corrente alternata

La corrente può anche variare arbitrariamente nel tempo

Corrente elettrica

Il verso di scorrimento della corrente è convenzionalmente preso come la direzione di movimento delle cariche positive



Tale convenzione si deve a Benjamin Franklin (1706-1790)

Tensione

La forza elettromotrice che compie il lavoro necessario a spostare le cariche (e quindi a creare una corrente) viene detta *tensione* o *differenza di potenziale*

La tensione v_{ab} fra due punti a e b di un circuito è l'energia necessaria per spostare una carica unitaria da a a b

Tensione

$$v_{ab} = \frac{dw}{dq}$$

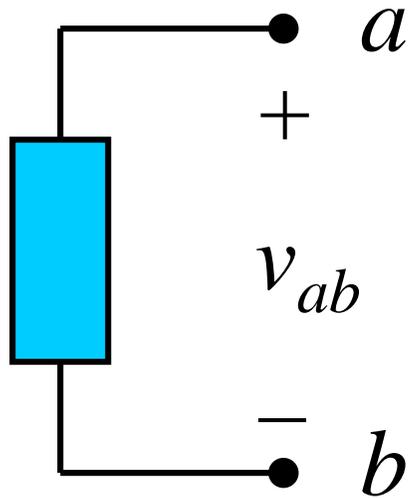
w energia in Joule (J)

q carica in Coulomb (C)

La tensione v si misura in **volt** (V) in onore di Alessandro Volta (1745-1827)

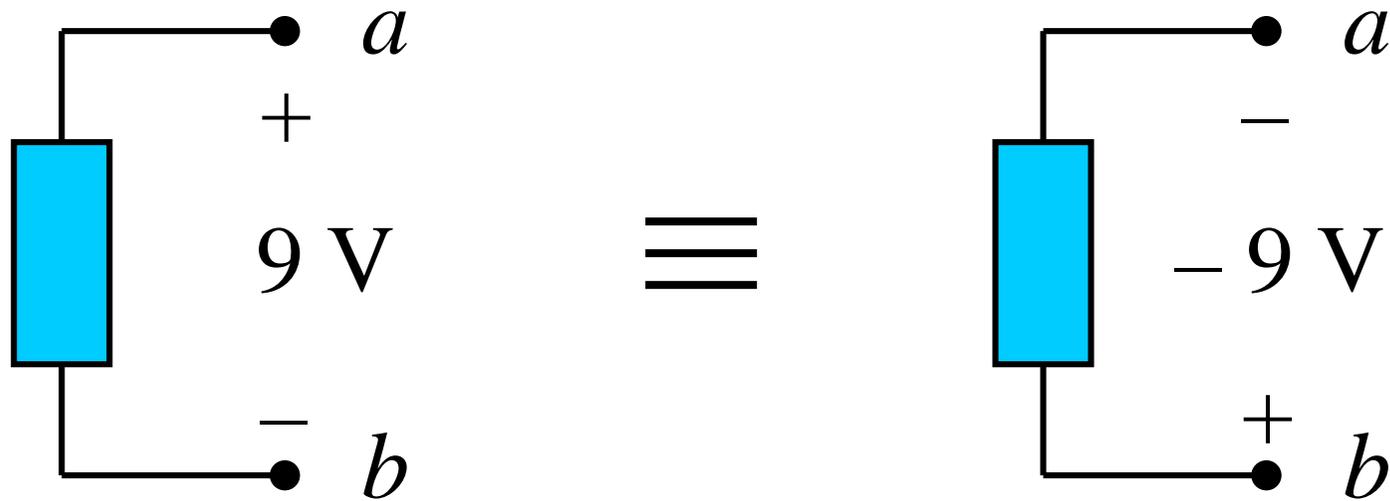
$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ N}\cdot\text{m/C}$$

Tensione



$$v_{ab} = -v_{ba}$$

Tensione



Fra i punti a e b vi è una *caduta di tensione* di 9 V
oppure

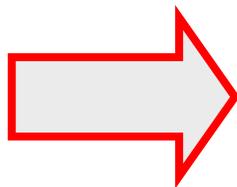
Fra i punti b ed a vi è un *aumento di tensione* di 9 V

Potenza ed Energia

L'energia è la capacità di un corpo o di un sistema di compiere lavoro

Principio di conservazione dell'energia

L'energia non si può creare né distruggere, ma solo trasformare



L'energia totale di un sistema isolato non può variare

Si misura in **joule** (J) in onore di James Prescott Joule (1818-89)

Potenza ed Energia

La potenza è la rapidità di assorbimento o emissione di energia nel tempo

$$p = \frac{dw}{dt}$$

w energia in Joule (J)

t tempo in secondi (s)

Si misura in **watt** (W) in onore di James Watt (1736-1819)

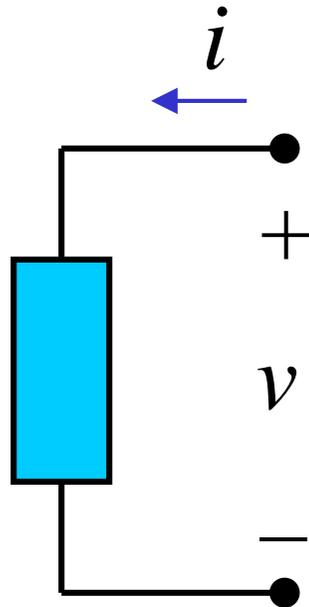
Potenza ed Energia

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = v \cdot i$$

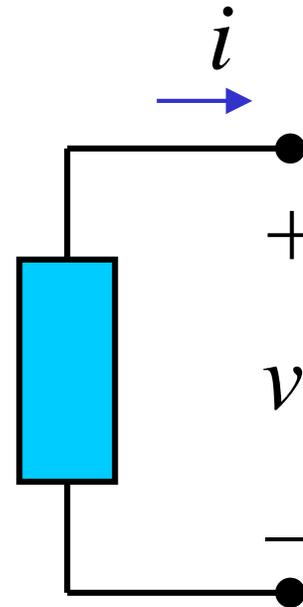
$p = v \cdot i$ è la **potenza istantanea** assorbita o erogata da un elemento

Segno della potenza?

Convenzione degli utilizzatori



$$p = + v \cdot i$$



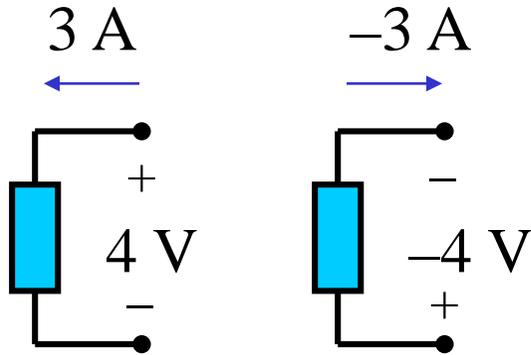
$$p = - v \cdot i$$

$p > 0$ potenza assorbita dall'elemento

$p < 0$ potenza erogata dall'elemento

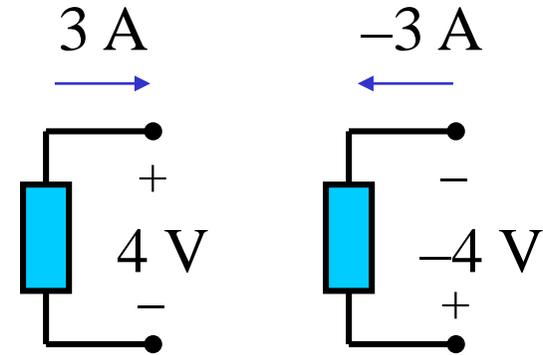
Convenzione degli utilizzatori

Esempi:



$$p = + v \cdot i = 12 \text{ W}$$

L'elemento assorbe 12 W



$$p = - v \cdot i = -12 \text{ W}$$

L'elemento eroga 12 W

Conservazione della potenza

Dal principio di conservazione dell'energia

La somma algebrica delle potenze in ogni istante di tempo deve essere nulla:

$$\sum p = 0$$

(tutte le potenze sono calcolate secondo la convenzione degli utilizzatori)

Energia elettrica

L'energia elettrica assorbita o erogata da un elemento dall'istante t_0 all'istante t è

$$w = \int_{t_0}^t p \, dt = \int_{t_0}^t v \cdot i \, dt$$

Le aziende produttrici di energia elettrica misurano l'energia in wattore (Wh):

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$$

Elementi circuitali

Elementi passivi

assorbono energia

(es. resistenze, condensatori, induttori)

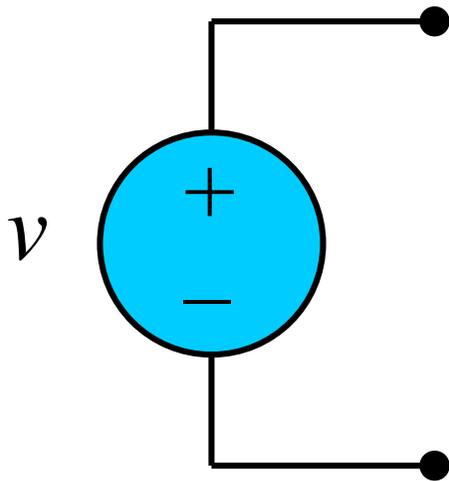
Elementi attivi

erogano energia

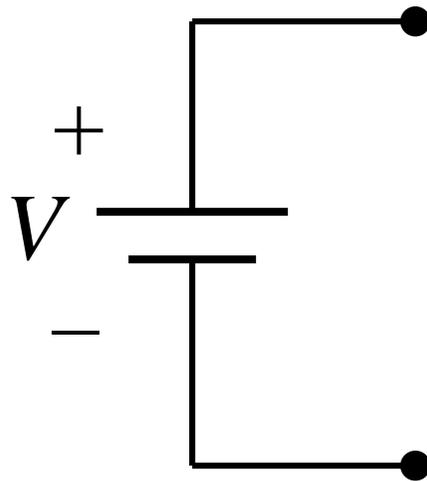
(es. generatori, batterie)

Generatori ideali indipendenti

Elementi attivi in grado di mantenere una tensione o una corrente specificata, indipendentemente dalle altre variabili del circuito



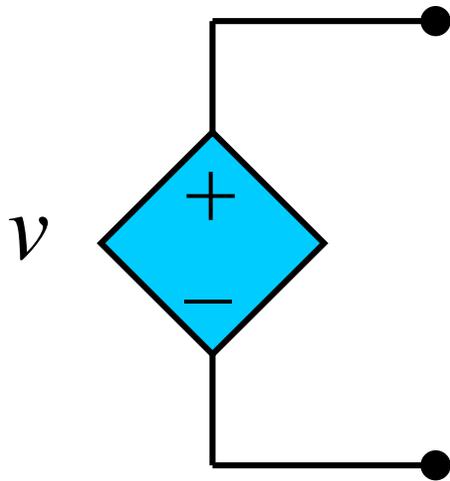
Generatori ideali di tensione



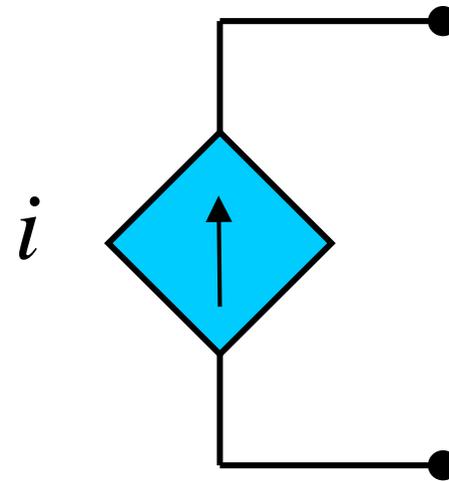
Generatore ideale di corrente

Generatori ideali dipendenti

Elementi attivi la cui tensione o corrente è controllata da un'altra tensione o corrente



Generatore dipendente
di tensione



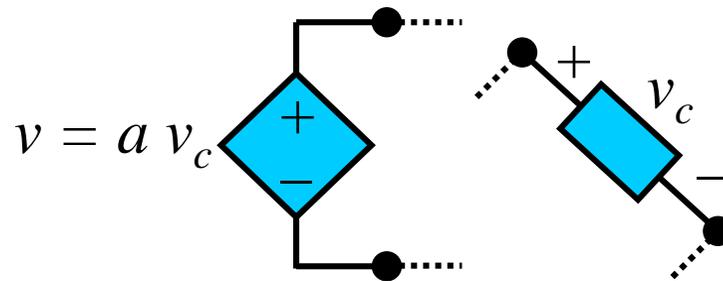
Generatore dipendente
di corrente

Generatori ideali dipendenti

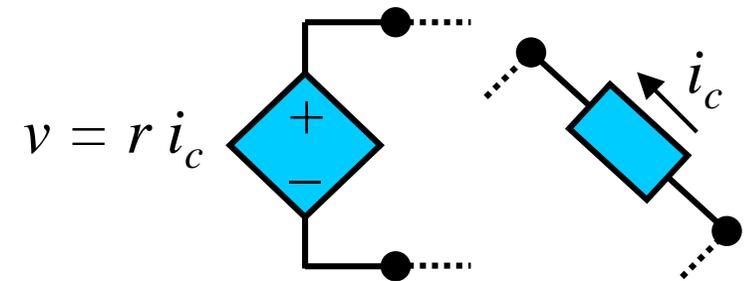
controllato in tensione

controllato in corrente

generatore di tensione

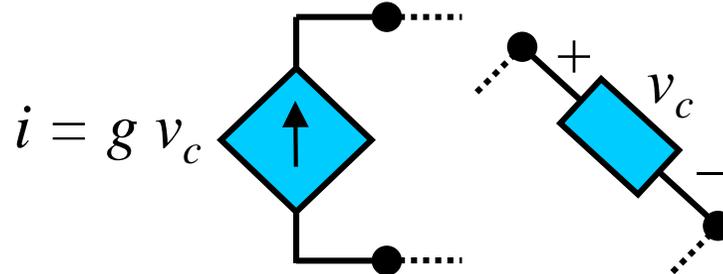


a è adimensionale

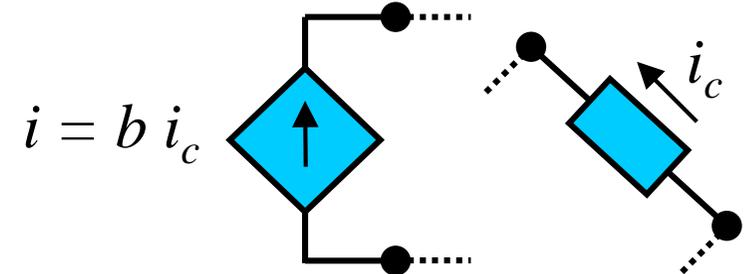


r ha le dimensioni di V/A

generatore di corrente



g ha le dimensioni ai A/V



b è adimensionale