

Facoltà di Ingegneria
Università degli studi di Pavia

Corso di Laurea Triennale in
Ingegneria Elettronica e Informatica

Circuiti Elettrici Lineari

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 11^a Conferenza Generale dei
Pesi e delle Misure a Parigi 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

Sistema Internazionale (SI)

Unità di quantità di sostanza.

La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kilogrammi di carbonio 12.

Quando si usa la mole, le entità elementari devono essere specificate; esse possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle, oppure raggruppamenti specificati di tali particelle.

(14^a CGPM, 1971, ris. 3).

Unità di intensità luminosa.

La candela è l'intensità luminosa, in una determinata direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} hertz e la cui intensità energetica in tale direzione è 1/683 watt allo steradiano.

(16^a CGPM, 1979, ris. 3).

1.1.1. Nome e simbolo speciali dell'unità SI di temperatura nel caso della temperatura Celsius.

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Temperatura Celsius	grado Celsius	°C

La temperatura Celsius t è definita dalla differenza $t = T - T_0$, tra due temperature termodinamiche T e T_0 , con $T_0 = 273,15$ kelvin. Un intervallo o una differenza di temperatura possono essere espressi in kelvin o in gradi Celsius. L'unità « grado Celsius » è uguale all'unità « kelvin ».

1.2. Altre unità SI.

1.2.3. Unità derivate SI che hanno nomi e simboli speciali.

Grandezza	Unità		Espressione	
	Nome	Simbolo	in altre unità SI	in unità SI di base o supplementari
Frequenza	hertz	Hz		s^{-1}
Forza	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pressione e tensione	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energia, lavoro, quantità di calore	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potenza (1), flusso energetico	watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Quantità di elettricità, carica elettrica	coulomb	C		$s \cdot A$
Tensione elettrica, potenziale elettrico, forza elettromotrice	volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistenza elettrica	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Conduttanza	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Capacità elettrica	farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flusso d'induzione magnetica	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induzione magnetica	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induttanza	henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Flusso luminoso	lumen	lm		$cd \cdot sr$
Illuminamento	lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Attività (irraggiamento ionizzante)	becquerel	Bq		s^{-1}
Dose assorbita, energia massica impartita, kerma, indice di dose assorbita	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Equivalenti di dose	sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$

(1) Nomi speciali dell'unità di potenza: il nome « voltampere », simbolo « VA », per esprimere la potenza apparente della corrente elettrica alterna e il nome « var », simbolo « var », per esprimere la potenza elettrica reattiva. Il nome « var » non è incluso in risoluzioni della CGPM.

Alcune unità derivate dalle unità SI di base o supplementari possono essere espresse impiegando le unità del capitolo I. In particolare, alcune unità derivate SI possono essere espresse con i nomi e i simboli speciali riportati nella tabella di cui sopra, per esempio: l'unità SI della viscosità dinamica può essere espressa come $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$ oppure $N \cdot s \cdot m^{-2}$ oppure $Pa \cdot s$.

1.2.1. Unità supplementari SI.

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Angolo piano	radiante	rad
Angolo solido	steradiano	sr

(11^a CGPM, 1960, ris. 12).

Le definizioni delle unità supplementari SI sono le seguenti:

Unità di angolo piano.

Il radiante è l'angolo piano compreso tra due raggi che, sulla circonferenza di un cerchio, intercettano un arco di lunghezza pari a quella del raggio.

(Norma internazionale ISO 31 - I, dicembre 1965).

Unità di angolo solido.

Lo steradiano è l'angolo solido, che, avendo il vertice al centro di una sfera, delimita sulla superficie di questa un'area pari a quella di un quadrato di lato uguale al raggio della sfera.

(Norma internazionale ISO 31 - I, dicembre 1965).

1.2.2. Unità derivate SI.

Le unità derivate in modo coerente dalle unità SI di base e dalle unità supplementari SI vengono indicate mediante espressioni algebriche sotto forma di prodotti di potenze delle unità SI di base e delle unità supplementari SI con un fattore numerico pari ad 1.

1.3. Prefissi e loro simboli che servono a designare taluni multipli e sottomultipli decimali.

Fattore	Prefisso	Simbolo	Fattore	Prefisso	Simbolo
10^6	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^9	giga	G	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^{15}	petra	P	10^{-6}	micro	μ
10^{18}	exa	E	10^{-9}	nano	n
10^{21}	zetta	Z	10^{-12}	pico	p
10^{24}	yotta	Y	10^{-15}	femto	f
10^{27}	otta	O	10^{-18}	atto	a

I nomi ed i simboli dei multipli e sottomultipli decimali dell'unità di massa vengono formati mediante l'aggiunta dei prefissi alla parola « grammo » e dei loro simboli al simbolo « g ».

Per designare alcuni multipli e sottomultipli decimali di un'unità derivata la cui espressione si presenta sotto forma di una frazione, un prefisso può essere legato indifferentemente alle unità che figurano al numeratore, al denominatore o in entrambi.

Sono vietati i prefissi composti, cioè formati mediante giustapposizione di più prefissi di cui sopra.

1.4. Nomi e simboli speciali autorizzati di multipli e sottomultipli decimali di unità SI.

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Volume	litro	l o L (1)	$1 l = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3$
Massa	tonnellata	t	$1 t = 1 Mg = 10^6 kg$
Pressione e tensione	bar	bar (2)	$1 bar = 10^5 Pa$

(1) Per l'unità litro possono essere utilizzati i due simboli « l » e « L ». (16^a CGPM, 1979, ris. 6).

(2) Unità che, nell'opuscolo dell'Ufficio internazionale dei pesi e misure, è compresa tra le unità ammesse temporaneamente.

Avvertenza: I prefissi ed i simboli di cui al punto 1.3 si applicano alle unità ed ai simboli elencati nella tabella del punto 1.4.

2. UNITA' DEFINITE IN BASE ALLE UNITA' SI, MA CHE NON SONO MULTIPLI O SOTTOMULTIPLI DECIMALI DI QUESTE.

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Angolo piano	angolo giro (*) (1) (a)		$1 \text{ angolo giro} = 2 \pi \text{ rad}$
	grado centesimale (*) oppure gon (*)	gon (*)	$1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad}$
	grado sessagesimale	°	$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$
	minuto d'angolo	'	$1' = \frac{\pi}{10.800} \text{ rad}$
	secondo d'angolo	"	$1'' = \frac{\pi}{648.000} \text{ rad}$
Tempo	minuto	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	ora	h	$1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$
	giorno	d	$1 \text{ d} = 86.400 \text{ s}$

(1) Il segno (*) dopo un nome o un simbolo di unità ricorda che questi non figurano negli elenchi compilati dalla CGPM, dalla CIPM e dal BIPM. Questa osservazione si applica al presente allegato nel suo complesso.

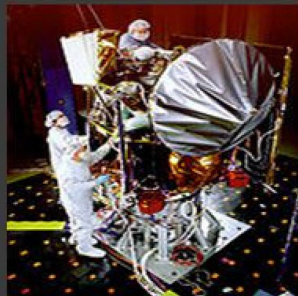
(a) Non esiste un simbolo internazionale.

Avvertenza: I prefissi di cui al punto 1.3 si applicano soltanto ai nomi « grado » e « gon » ed i relativi simboli soltanto al simbolo « gon ».

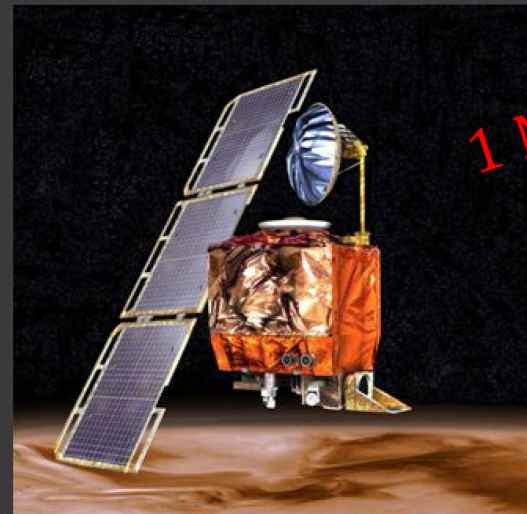
Unità di misura

The NASA Disaster

- The NASA Mars Climate Orbiter reached Mars on 23rd September 1999 to establish an orbit around Mars but it disappeared.
- The engineering team used Imperial measurements while the Jet Propulsion Lab Team used the metric system.
- As a result, the wrong navigation information was sent to the Orbiter and NASA lost \$125 million.



http://mathspjg.files.wordpress.com/2009/10/mars_climate_orbiter_during_tests.jpg



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Mars_Climate_Orbiter_2.jpg

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \neq 1 \text{ lbf}$$

$$1 \text{ N} = 4.44822 \text{ lbf}$$

Altri casi curiosi/drammatici: <http://www.us-metric.org/unit-mixups/#rice>

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

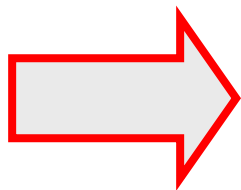
Lo “0” è l'unico numero che non ha bisogno di unità di misura

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):

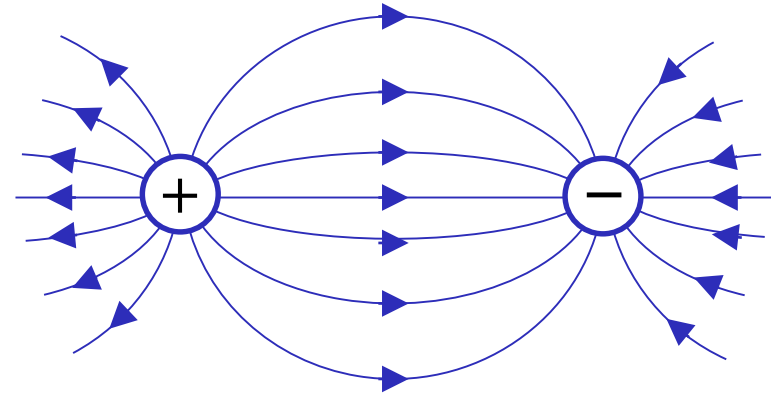
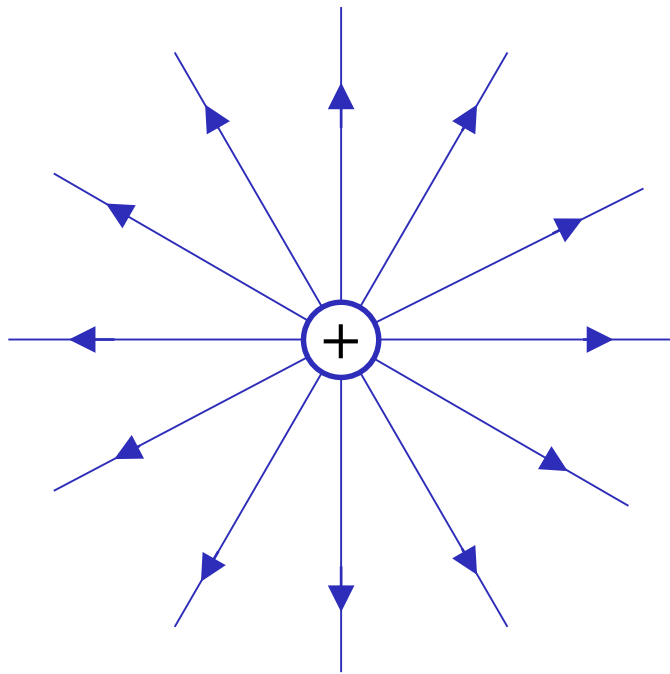
carica dell'elettrone: $e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

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

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

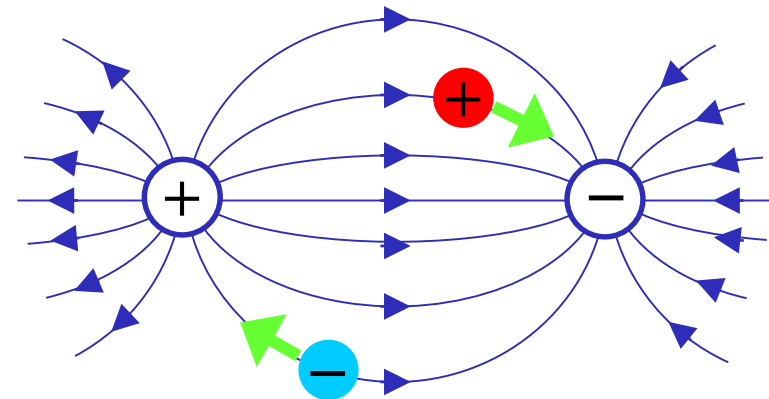
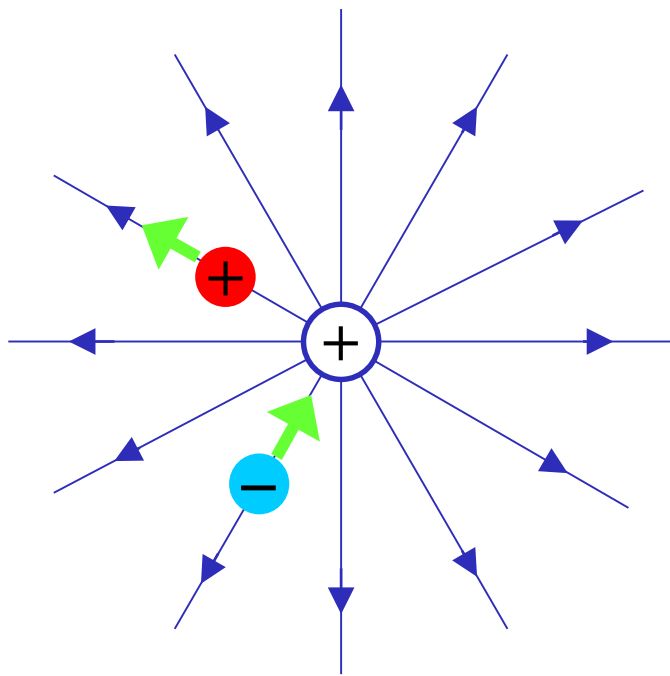
Campo elettrico

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



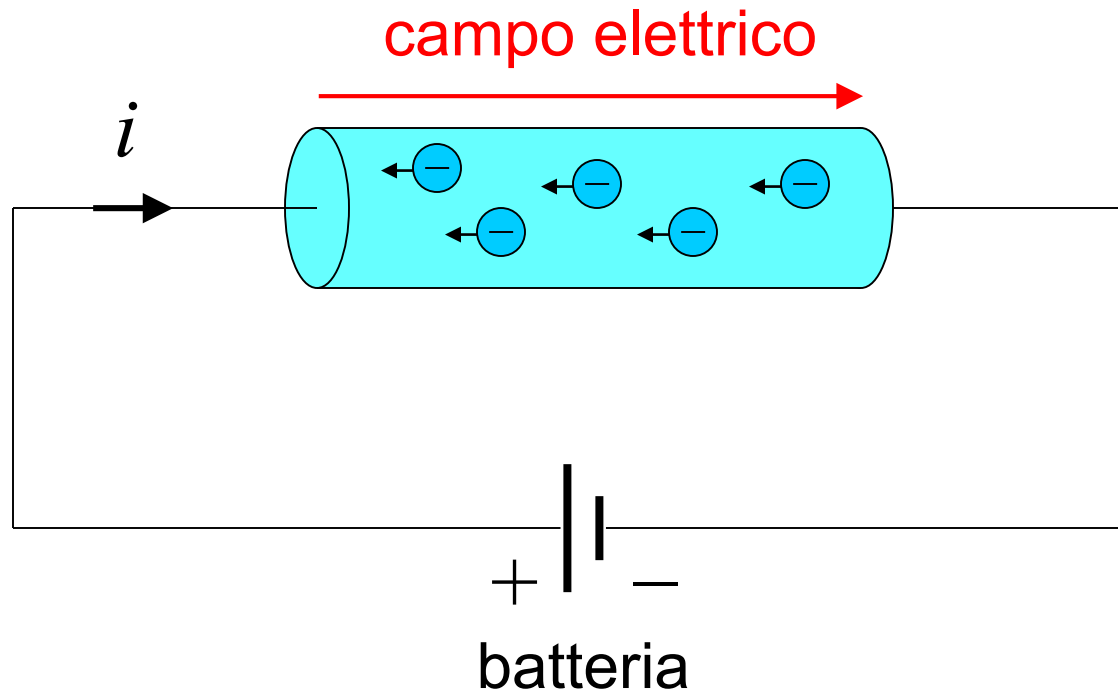
Campo elettrico

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

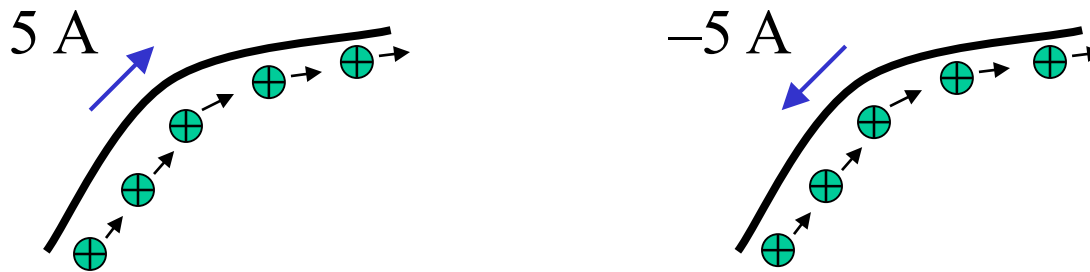
Se i varia nel tempo sinusoidalmente

→ 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

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

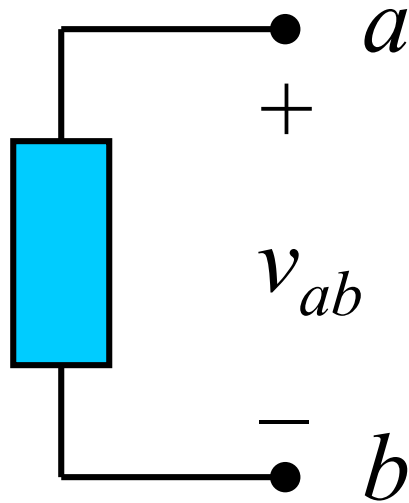
w energia in Joule (J)

q carica in Coulomb (C)

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

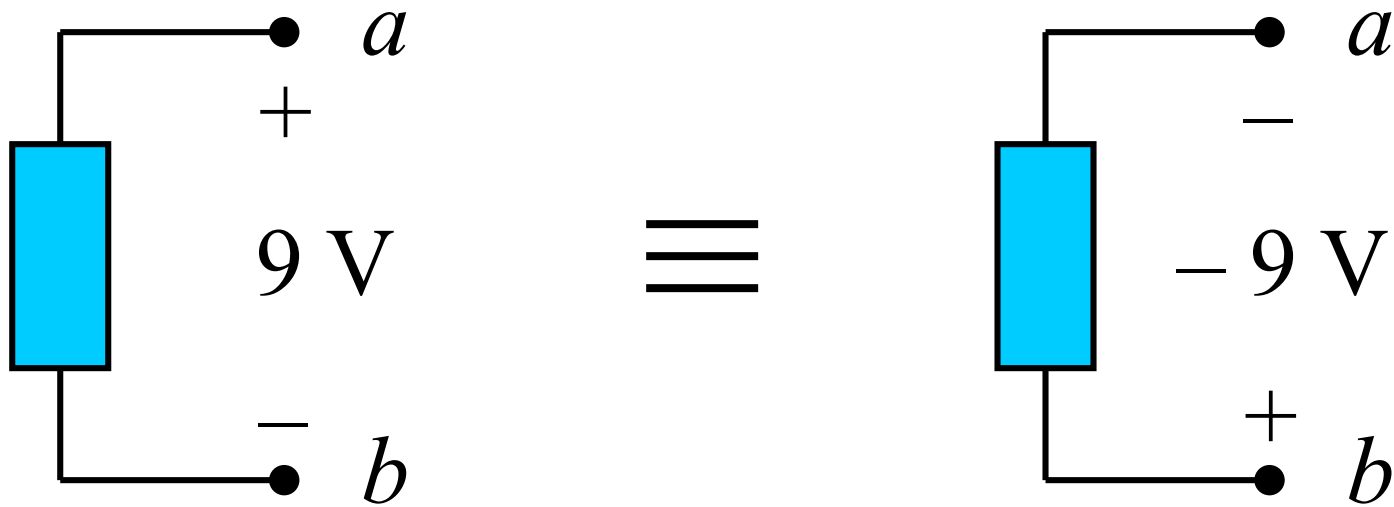
$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ N}\cdot\text{m/C}$$

Tensione



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

Tensione



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

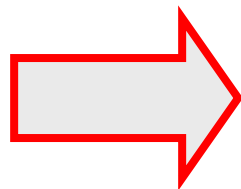
Fra i punti b ed a vi è un *aumento di tensione* di 9 V

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)

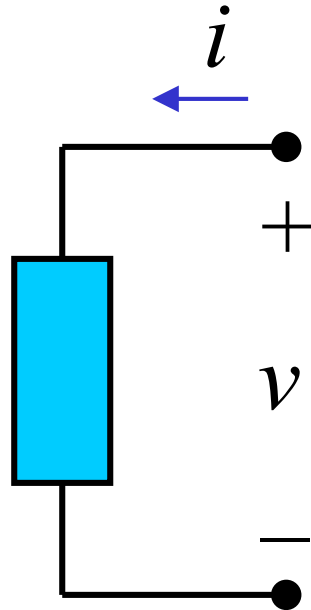
Potenza ed Energia

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

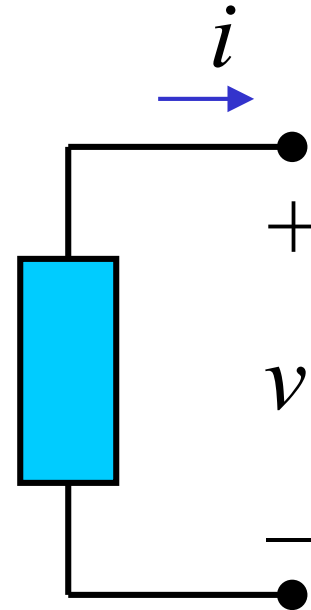
$p = v \cdot i$ è la **potenza istantanea** assorbita o erogata da un elemento

Segno della potenza?

Convenzione degli utilizzatori



$$p = + v \cdot i$$



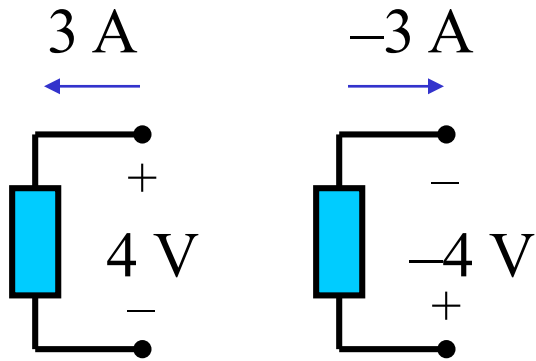
$$p = - v \cdot i$$

$p > 0$ potenza assorbita dall'elemento

$p < 0$ potenza erogata dall'elemento

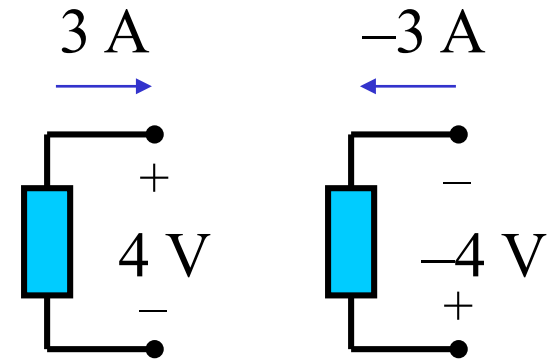
Convenzione degli utilizzatori

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)

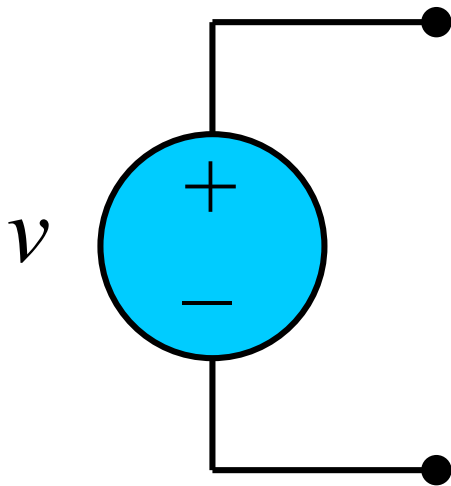
Elementi attivi

erogano energia

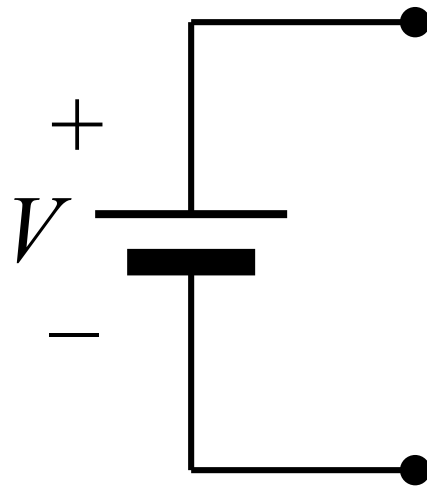
(es. generatori, batterie)

Generatori ideali indipendenti

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



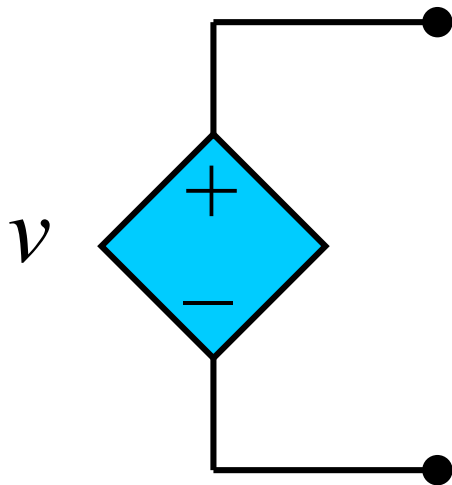
Generatori ideali di tensione



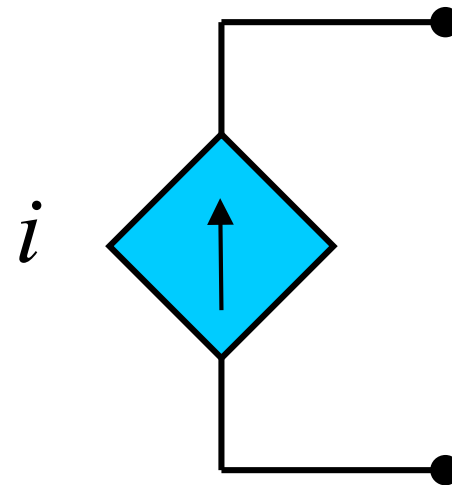
Generatore ideale di corrente

Generatori ideali dipendenti

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



Generatore dipendente
di tensione



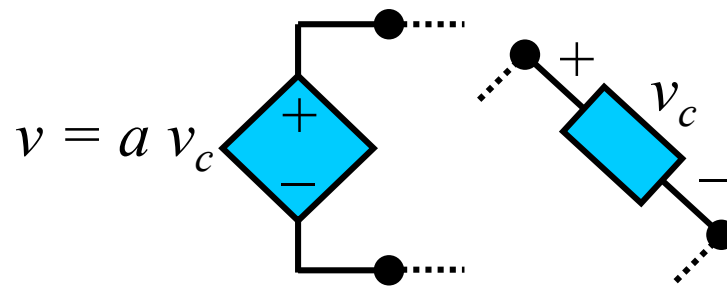
Generatore dipendente
di corrente

Generatori ideali dipendenti

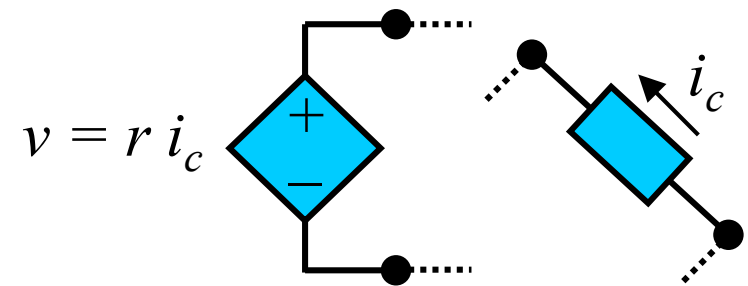
controllato in tensione

controllato in corrente

generatore di tensione

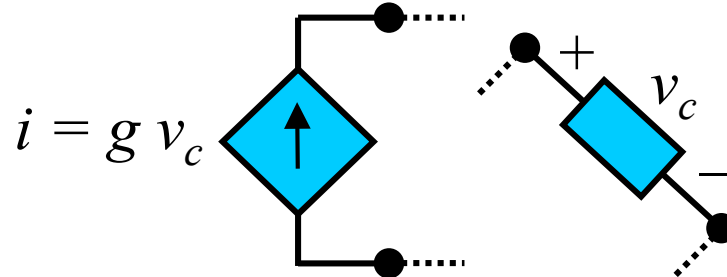


a è adimensionale

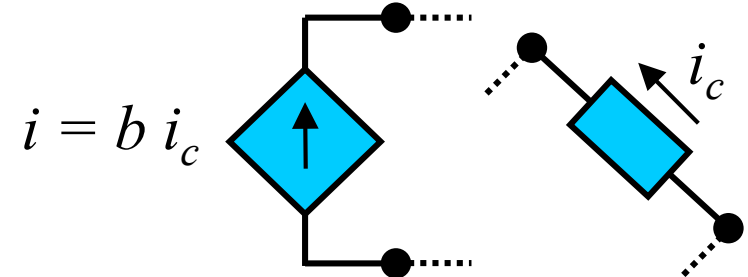


r ha le dimensioni di V/A

generatore di corrente



g ha le dimensioni ai A/V



b è adimensionale

Altri simboli adottati per i generatori

