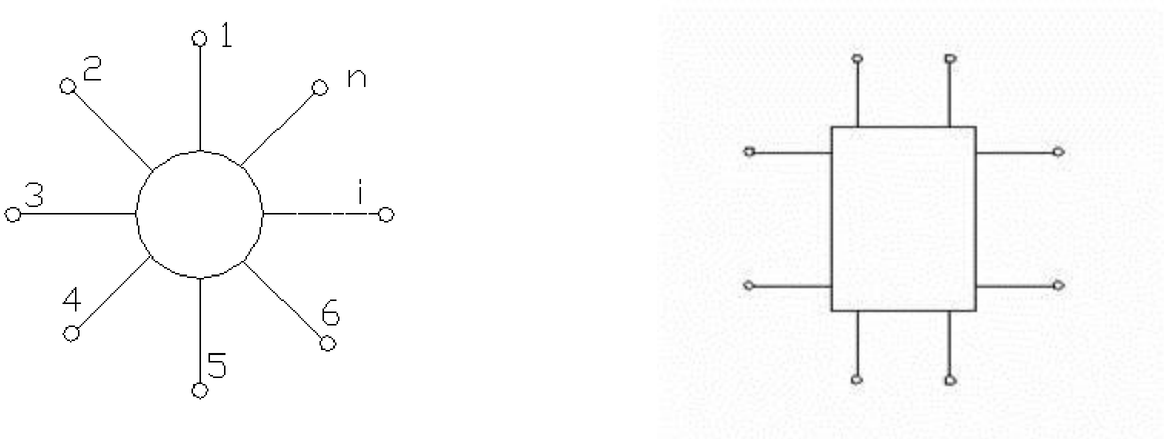
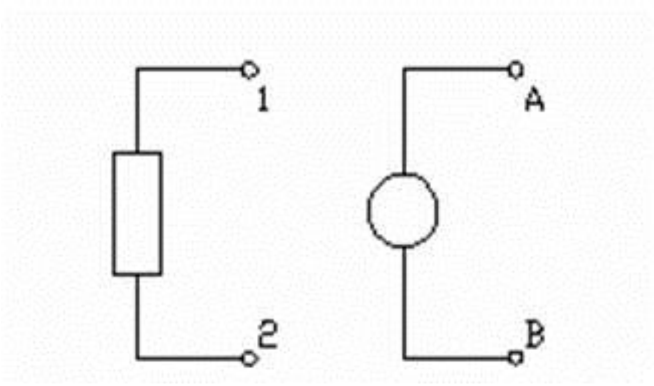
1.ELEMENTI DI RETE

Un elemento di rete può essere accessibile attraverso un numero ***n*** di morsetti: ***n-poli***.
Nel caso particolare di ***n = 2*** l'elemento si chiama ***bipolo***.
Se inoltre la corrente entrante in un morsetto è uguale a quella uscente dall'altro, l'elemento viene chiamato ***porta***.



n-poli

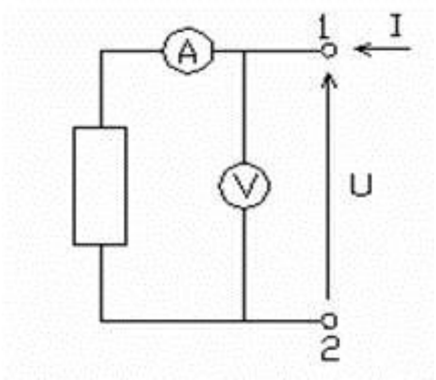
BIPOLI



Il bipolo è definito elettricamente attraverso la sua ***caratteristica***. Essa è una curva continua o per punti, che rappresenta l'andamento delle le <u>coppie di valori</u> ***<u>causa-effetto</u>***. Infatti per un bipolo si può associare a ciascun valore della tensione U (causa) la corrente I (effetto) che circolerà in esso.

A e B o 1 e 2 sono i morsetti del bipolo

U=U(I)



$\Updownarrow$

Caratteristica del bipolo

U	**I**
U_1	I_1
U_2	I_2
…	…
U_n	I_n

La ***caratteristica*** del generico bipolo è ricavata sperimentalmente e riportata, quindi, in un ***grafico***.

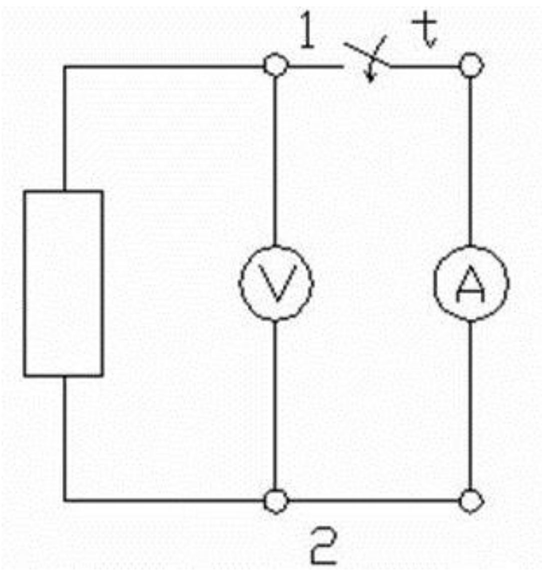
I bipoli possono essere così classificati:

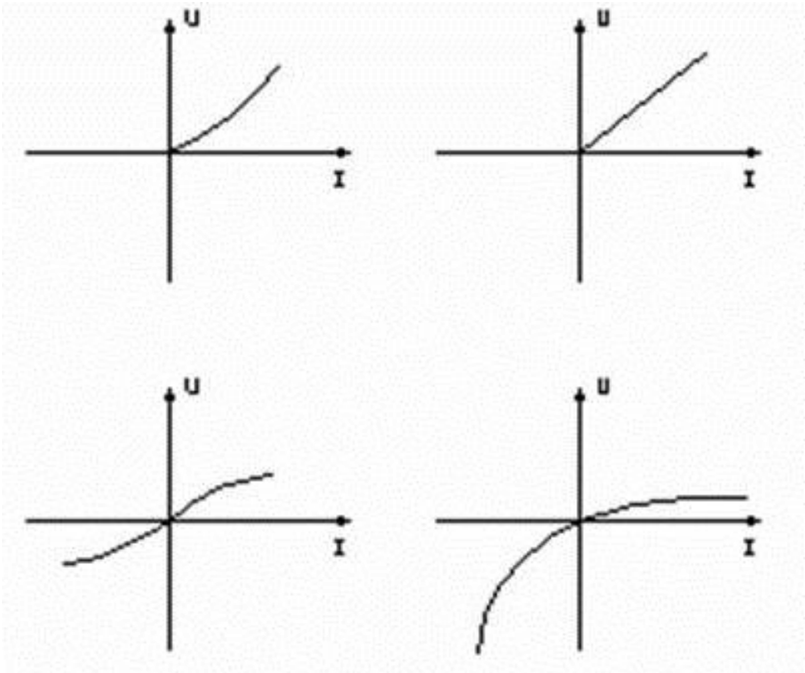
Bipolo inerte: la caratteristica passa per l'origine, per I=0 U=0. In questo caso si dice che l'elemento è privo di memoria. Infatti in esso non rimane traccia delle tensioni in esso applicate o delle correnti che lo hanno attraversato in istanti precedenti.

Bipolo passivo: la caratteristica passa per l'origine (se I=0 allora U=0); inoltre la caratteristica è situata in quadranti opposti del piano (I;U), ossia il prodotto delle coordinate è sempre > 0 (Ui Ii >0).

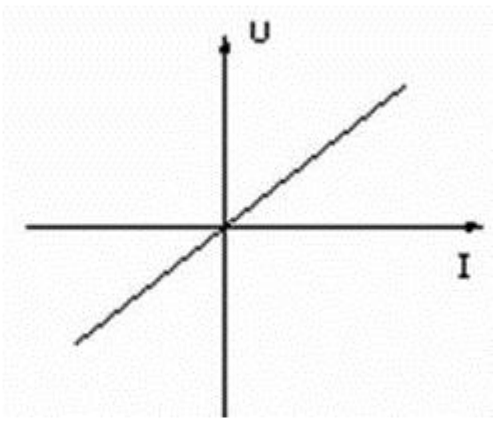
<u>*In esso non vi è alcuna fonte di energia.*</u>

Si può facilmente fare una verifica considerando il bipolo collegato a un voltmetro e un amperometro (come di seguito riportato nello schema elettrico). Si verifica che alla chiusura dell'interruttore t, l'amperometro non rileva alcun passaggio di corrente, e con l'interruttore t aperto il voltmetro non misura alcun valore di tensione.





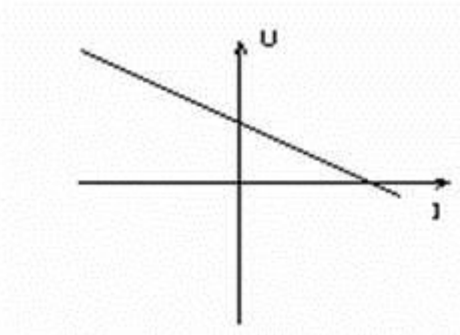
Esempi di caratteristiche di bipoli inerti



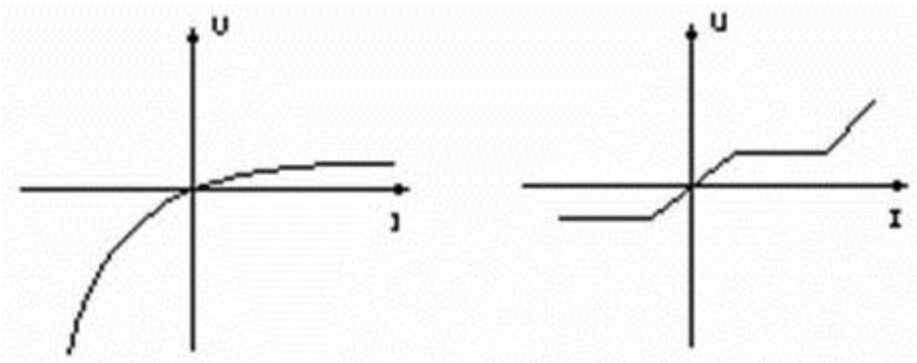
Caratteristica di una resistenza: esempio di bipolo inerte e passivo.

Bipolo attivo: la caratteristica non passa per l'origine e il prodotto delle coordinate (I;V) può avere segni diversi. Ovviamente non è verificata la condizione di passività: se si chiude il bipolo su un amperometro, questo misurerà una certa corrente I.

$(U_i;I_i) \longrightarrow \quad Ui, Ii \geq 0$ oppure $Ui, Ii \leq 0$



Bipolo lineare: la caratteristica è lineare
Bipolo non lineare: la caratteristica non è rettilinea o è anomala.



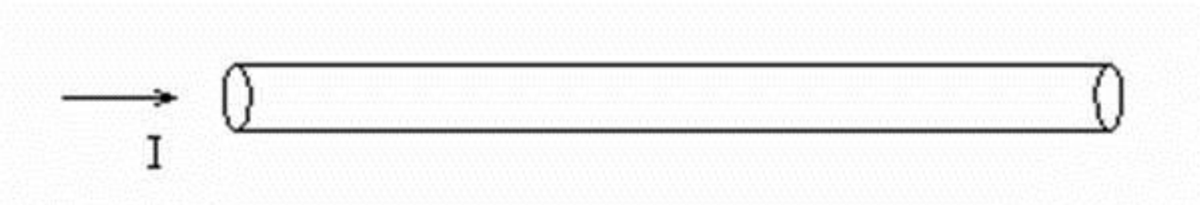
La figura a sinistra indica la caratteristica di un diodo, quella a destra indica la caratteristica di un bipolo lineare a tratti.

BIPOLI FONDAMENTALI

Supponiamo siano soddisfatte le condizioni per le quali sia possibile utilizzare il modello del sistema fisico a parametri concentrati. Si ipotizza inoltre che il sistema sia stazionario, per cui le grandezze fisiche non variano con il tempo.

RESISTORE

Si consideri un circuito costituito da un filo metallico rettilineo di materiale omogeneo a sezione costante in regime stazionario, quindi risulta I = costante.



Se una corrente I lo attraversa per un tempo t, esso si scalda, sviluppando una certa quantità di calore equivalente all'**energia**:

$$W = RI^2 t \qquad [Joule] \quad [J] \qquad (1)$$

e alla **potenza**:

$$P = \frac{W}{t} = RI^2 \quad [Watt] \equiv [W] \qquad (2)$$

quest'ultima coincide con la potenza elettrica totale assorbita dal tratto di circuito considerato, essa è l'espressione della **Legge di Joule**.

La (1) e la (2) sono leggi empiriche.
<u>Il fattore di proporzionalità R, comunemente chiamato resistenza, dipende dalle dimensioni del conduttore e dalla natura del materiale usato.</u>

Dallo studio del campo elettrico in regime stazionario risulta che il parametro R, per un conduttore cilindrico filiforme è dato dalla seguente relazione:

$$\boldsymbol{R = \rho \frac{l}{A}} \quad [\Omega] \quad \text{e si misura in } \textbf{ohm} \qquad (3)$$

dove:

- ✓ ρ = resistività;

$$\boldsymbol{\rho = R\frac{A}{l}} \quad \left[\boldsymbol{\Omega \frac{m^2}{m} = \Omega m}\right] \text{ oppure } \left[\boldsymbol{\Omega \frac{mm^2}{m}}\right]$$

- ✓ l = lunghezza $[m]$
- ✓ A = sezione $[m^2]$

Nei calcoli elettrici delle linee, come unità di misura della resistività di un conduttore si usa solitamente $\left[\boldsymbol{\Omega \frac{mm^2}{km}}\right]$.

La ***resistività*** è la resistenza del conduttore realizzato con un certo materiale, di dimensioni unitarie, mentre si definisce ***conducibilità*** l'inverso della resistività:

$$\frac{1}{\rho} = \gamma \left[\frac{Siemens}{m} \right] \qquad (4)$$

<u>L'inverso della resistenza é chiamata conduttanza G e si misura in Siemens</u>.

$$\frac{1}{R} = G \quad [Siemens]; \quad [S] = \left[\Omega^{-1} \right]$$

L'unità di misura della resistenza, **ohm** [Ω], è definita anche come la resistenza di un conduttore che dissipa 1 W quando è attraversato da una corrente unitaria (1 A).

Ciò deriva dalla relazione inversa della (2) e cioè: $R = \frac{P}{I^2}$

Variazione della resistività con la temperatura

La resistività dei materiali varia sensibilmente con la temperatura. Per i metalli, limitatamente ad un intervallo di temperatura nel quale non si abbiano cambiamenti di stato fisico, la resistività varia secondo una curva che viene linearizzata per ottenere la formula approssimata del fenomeno:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha_0 T) \qquad (5)$$

dove:

- ✓ ρ_0 è la resistività alla temperatura di 0°C
- ✓ ***T*** è la temperatura di lavoro in °C
- ✓ α_0 è il coefficiente di variazione della resistività in funzione della temperatura [°C^{-1}]

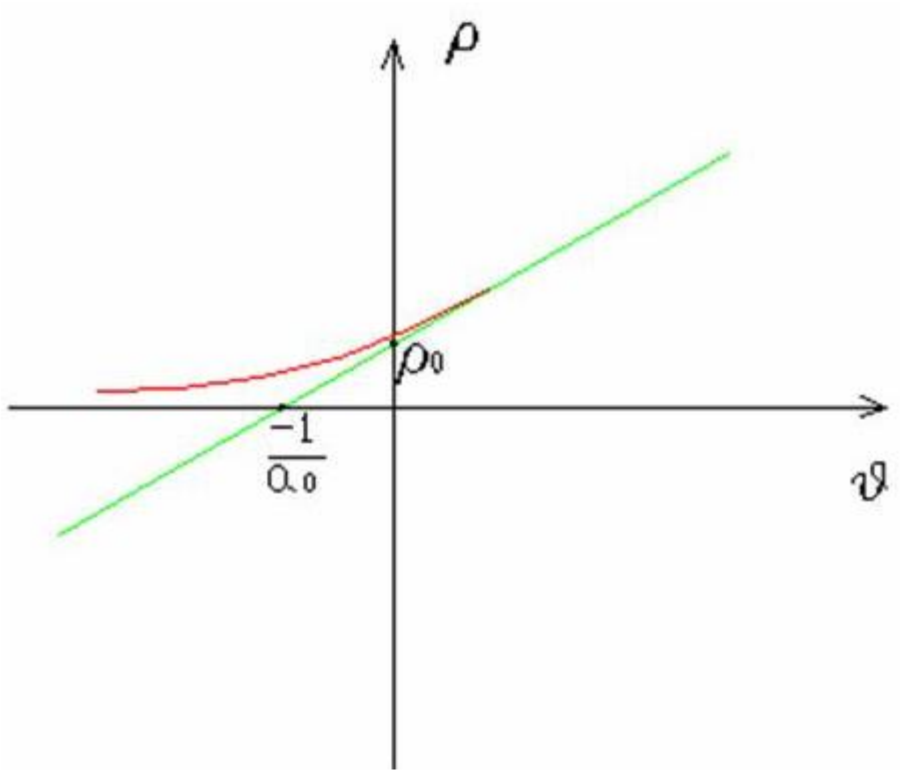


Grafico che rappresenta la linearizzazione della curva di variazione della resistività con la temperatura.

Esistono delle tabelle che forniscono per i diversi materiali i valori di α_0 e ρ_0 oppure i valori di riferimento alla temperatura ambiente di 20°C.

Chiaramente si può utilizzare la formula approssimata della resistività per ottenere la resistività del materiale ad una temperatura T_2, noti ρ_1 e α_1 alla temperatura T_1.

$$\rho_2 = \rho_1 \left[1 + \alpha_1 (T_2 - T_1)\right].$$

Quindi se i parametri sono noti alla temperatura T_{20} di 20°:

$$\rho_T = \rho_{20} \left[1 + \alpha_{20} (T - T_{20})\right] \qquad (6)$$

Per le resistenze, in maniera analoga, si può scrivere:

$$R_T = R_{20} \left[1 + \alpha_{20} (T - T_{20})\right] \qquad (7)$$

Il coefficiente α_1 e genericamente α_T sono rispettivamente uguali a: $\alpha_1 = \dfrac{1}{(1/\alpha o) + T_1}$ *e in generale;* $\alpha_T = \dfrac{1}{(1/\alpha 1) + (T - T_1)}$.

*** I valori della una resistenza di un conduttore alla temperatura T_1 e alla temperatura T_2 sono rispettivamente uguale a:

$$R_1 = R_{20} \left[1 + \alpha_{20} (T_1 - T_{20})\right]$$

$$R_2 = R_{20} \left[1 + \alpha_{20} (T_2 - T_{20})\right]$$

Facendo il rapporto delle due espressioni ed esplicitando per R_2 si ha:

$$R_2 = R_1 \frac{1+\alpha_{20}(T_2 - T_{20})}{1+\alpha_{20}(T_1 - T_{20})} = R_1 \frac{1+\alpha_{20}(T_2 - T_{20}) + \alpha_{20}(T_1 - T_1)}{1+\alpha_{20}(T_1 - T_{20})}$$

$$R_2 = R_1 \frac{\left[1+\alpha_{20}(T_1 - T_{20}) + \alpha_{20}(T_2 - T_1)\right]}{\left[1+\alpha_{20}(T_1 - T_{20})\right]}$$

$$= R_1 \left[1 + \frac{\alpha_{20}(T_2 - T_1)}{\left[1+\alpha_{20}(T_1 - T_{20})\right]}\right] = R_1 \left[1 + \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{1}{\alpha_{20}} + (T_1 - T_{20})\right]}\right]$$

$$= R_1 \left[1 + \frac{(T_2 - T_1)}{\alpha_{T1}}\right]$$

essendo :

$$\alpha_{T1} = \frac{1}{\alpha_{20}} + (T_1 - T_{20})$$

Per la legge di Joule:

$$W = RI^2 t = RI \cdot It \qquad (8)$$

dove:

- ***RI*** è lavoro compiuto dalla forza agente sulla carica unitaria quando questa percorre il conduttore filiforme di resistenza R
- ***It*** è una carica elettrica

N.B. $q = \int i\,dt \longleftrightarrow i = \lim_{t \to 0} \frac{dq}{dt}$

In regime stazionario questo lavoro è, per definizione, la differenza di potenziale elettrico U fra gli estremi del conduttore:

$$U = RI \quad (Volt) \qquad (9)$$

$$\Updownarrow$$

LEGGE DI OHM

<u>La differenza di potenziale fra gli estremi di un conduttore è proporzionale alla intensità di corrente che lo percorre.</u>

Dall'espressione della legge di Ohm si ricavano le seguenti relazioni:

$$W = RI^2 t = UIt \qquad [J] \tag{10}$$

$$P = RI^2 \qquad [W] \tag{11}$$

In base alla legge di Ohm:

1 Volt è la differenza di potenziale esistente fra gli estremi di un conduttore, avente la resistenza di 1 Ω, percorso dalla corrente di 1 Ampere.

Se si utilizzano conduttori di uguali dimensioni, ma con materiali costruttivi diversi, avremo diversi valori di resistività.

Esempio:
Conduttore in rame elettrolitico (Cu):
ρ_{0cu} = 0.016 μΩm e α_{0cu} = 0.0042 [1/C°]
Conduttore in alluminio (Al):
ρ_{0al} = 0.026 μΩm e α_{0al} = 0.0042 [1/C°]

Si può pensare di associare un parametro per ciascun materiale che sia indicativo delle caratteristiche elettriche, facendo riferimento a conduttori con uguali dimensioni.

- Se si considerano due conduttori con uguali dimensioni, ma con materiali costruttivi diversi, si avrà una circolazione di corrente maggiore nel conduttore con minore resistività, perché presenta una minore resistenza al passaggio della corrente.

- Se considero due conduttori di lunghezza diversa, ma con uguale materiale, a parità di tensione applicata, circola una corrente minore nel conduttore di lunghezza maggiore, che, oltretutto, si scalderà di più.

- Se considero due conduttori di sezione diversa, ma con uguale materiale, a parità di tensione applicata, circola una corrente minore nel conduttore con sezione minore, che, oltretutto, si scalderà di più.

Questi fenomeni sono espressi dalla relazione:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega]$$

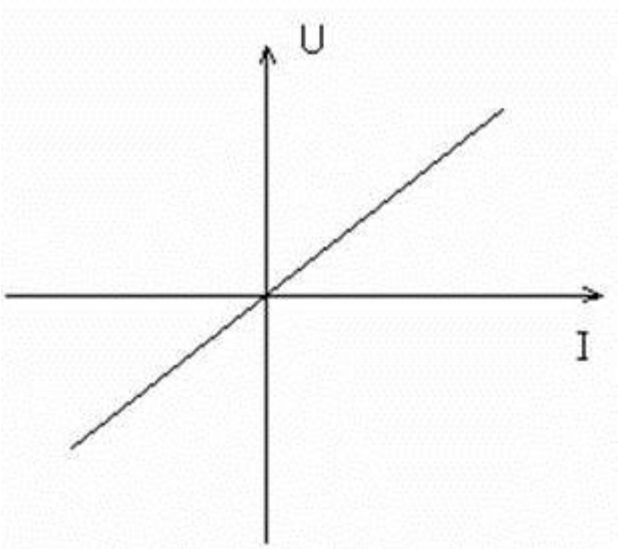
la resistenza è direttamente proporzionale alla resistività e alla lunghezza del conduttore, quindi aumenta con l'aumentare di questi due parametri, mentre è inversamente proporzionale alla sezione.

Un conduttore filiforme può essere rappresentato con il simbolo di una resistenza con il suo valore numerico in ohm.
Spesso, nel calcolo delle linee elettriche, si usa la resistenza specifica, ossia il valore di resistenza per unità di lunghezza.
Questa si indica con **r** e si misura in [Ω/km].

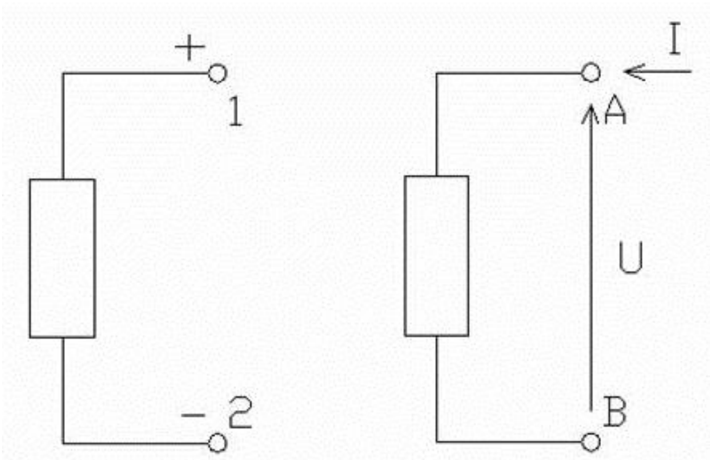
Si è finora definito il componente elementare resistivo R come un bipolo, ossia un elemento elettrico accessibile da due morsetti generici.
In condizioni statiche un bipolo è completamente identificato dalla relazione: tensione – corrente:

$$U=U(I) \text{ oppure } I=I(U)$$

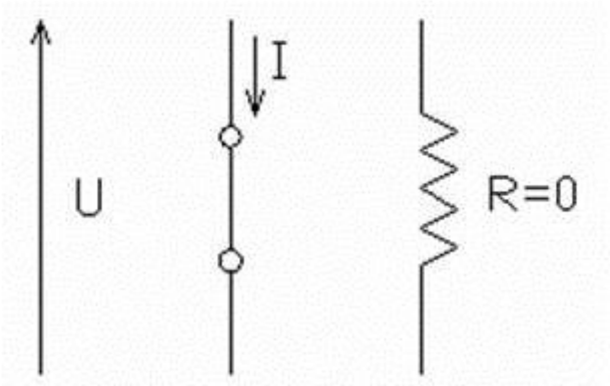
Nel caso del bipolo resistivo: ***U=RI***



Il bipolo può essere completato con ulteriori simboli che ne caratterizzano le polarità.



Bipolo corto circuito:

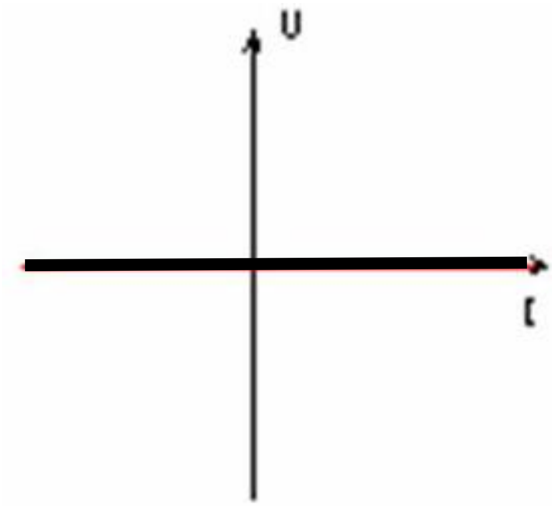


$U = RI = 0$ essendo $R = 0$ per qualunque I

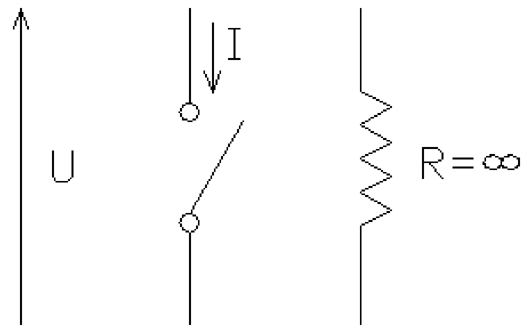
La tensione ai suoi capi è uguale a zero per qualunque valore di corrente.

Esso è assimilabile ad un interruttore chiuso o ad una resistenza di valore nullo.

La sua caratteristica coincide con l'asse delle ascisse.

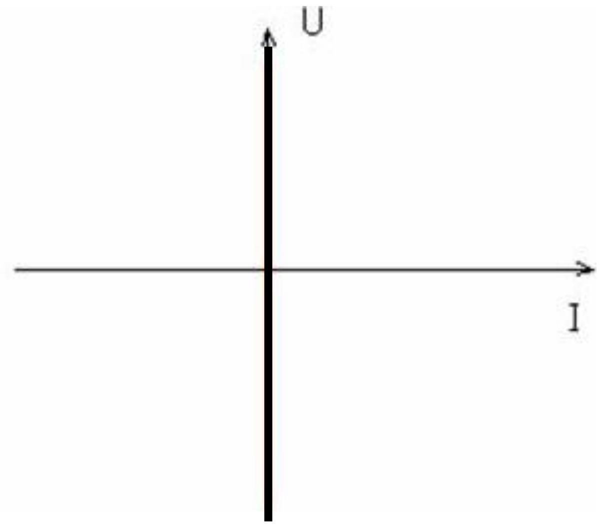


Bipolo circuito aperto:

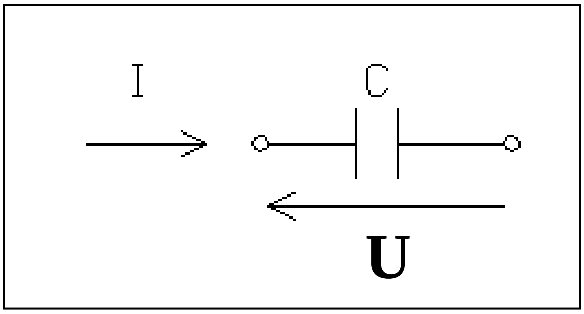


I = U/R = 0 per qualunque U

La corrente che lo attraversa è uguale a zero per qualunque valore di tensione applicata.
Esso è assimilabile ad un interruttore aperto o ad una resistenza di valore infinito. La sua caratteristica coincide con l'asse delle ordinate.



BIPOLI CAPACITORE E INDUTTORE IN C. C.

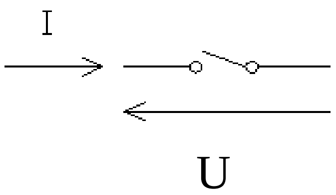


U

Capacitore o condensatore

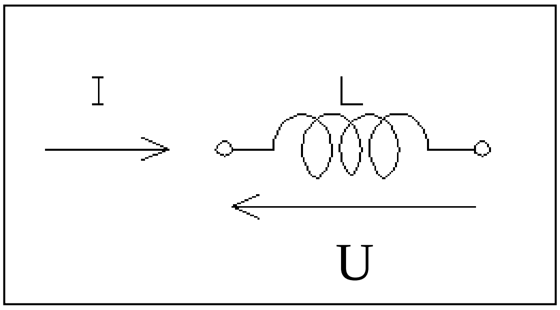
$$i = C\frac{du}{dt} \quad \text{o} \quad u = \frac{1}{C}\oint i dt + u(t_0)$$

se U= cost $\Rightarrow$ I=0



$$\boldsymbol{R = \infty \longrightarrow I = \frac{U}{R} = 0} \quad (1)$$

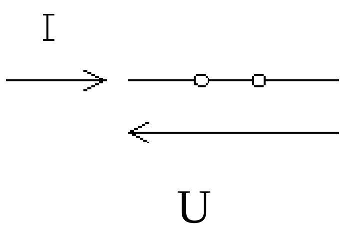
<u>Quindi il condensatore ideale in corrente continua</u> equivale ad un <u>interruttore aperto</u>; non circola corrente (funzionamento equivalente al bipolo circuito aperto).



Induttore o induttanza ideale

$$u = L\frac{di}{dt} \quad \text{o} \quad i = \frac{1}{L}\oint u dt + i(t_0)$$

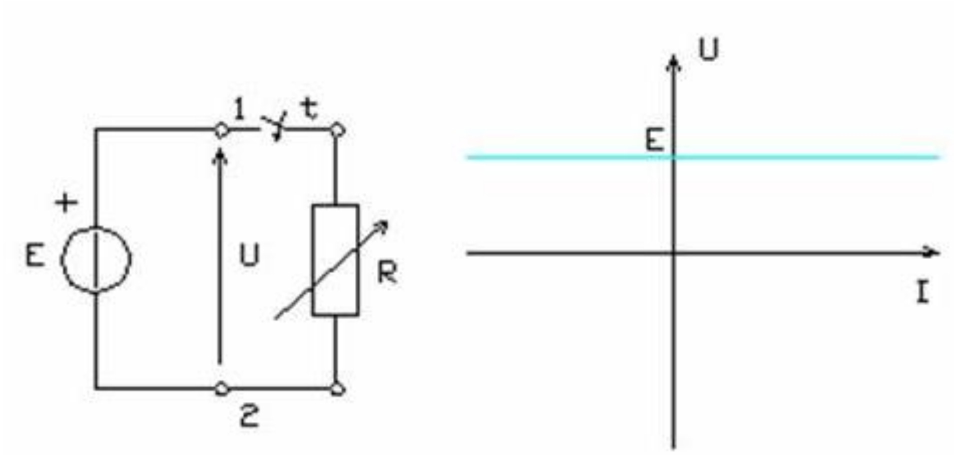
se I=cost $\Rightarrow$ U=0



$$\boldsymbol{R = 0 \longrightarrow U = 0; I = 0} \quad (2)$$

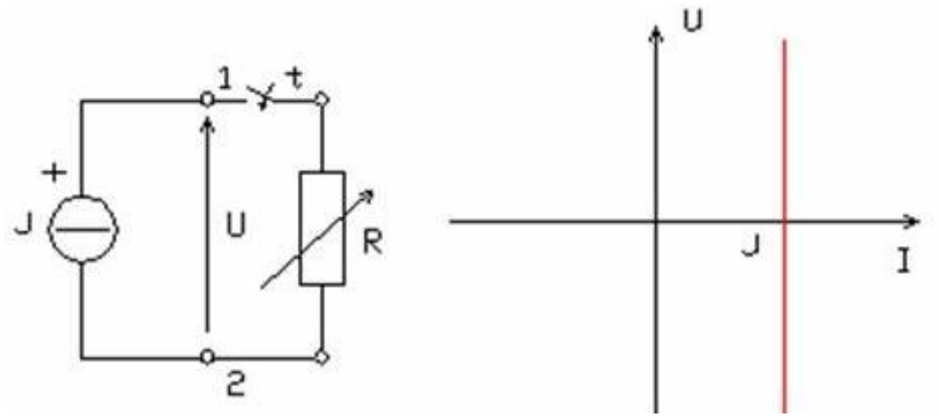
<u>Quindi l'induttore ideale in corrente continua</u> equivale ad un <u>interruttore chiuso privo di resistenza</u>; la tensione ai capi del bipolo è nulla (funzionamento equivalente al bipolo corto circuito).

Generatore ideale di tensione indipendente:



U = E per qualunque valore di I.
L'apertura o la chiusura dell'interruttore t non modifica il valore della tensione E impressa dal generatore; anche una variazione di resistenza R non influisce su questo valore.

Generatore ideale di corrente indipendente

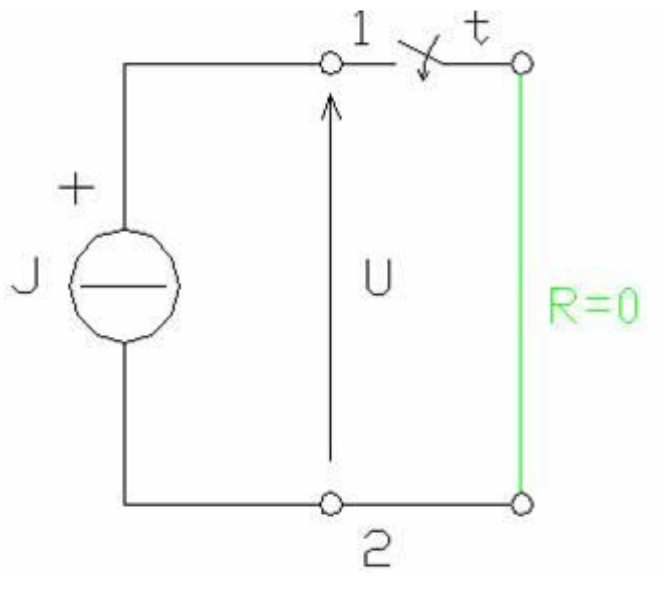


I = J per qualunque valore di U.

Si vogliono ora evidenziare due casi che rappresentano ***assurdi fisici***.

Bipolo su base corrente

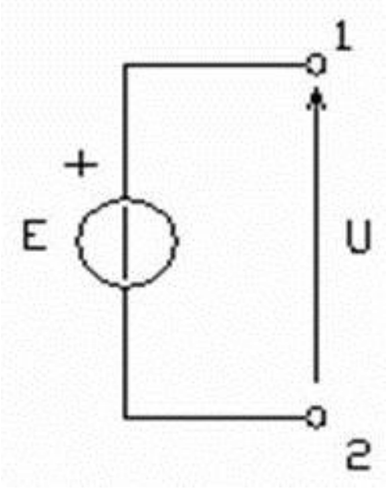
Il valore della corrente I deve essere uguale a quella impressa dal generatore (J).
Applicando la legge di Ohm al circuito, si nota che, essendo la resistenza di un corto-circuito pari a zero, il valore della corrente dovrebbe essere infinita e, quindi, diversa da J.



$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{0} = \infty$$

Bipolo su base tensione

La tensione U ai capi del bipolo deve essere pari ad E per la presenza del generatore di tensione.
Applicando la legge di Ohm al circuito, si nota che, essendo la resistenza di un circuito aperto pari a infinito, il valore della tensione dovrebbe essere nulla, perché in un conduttore di resistenza infinita non circola corrente.



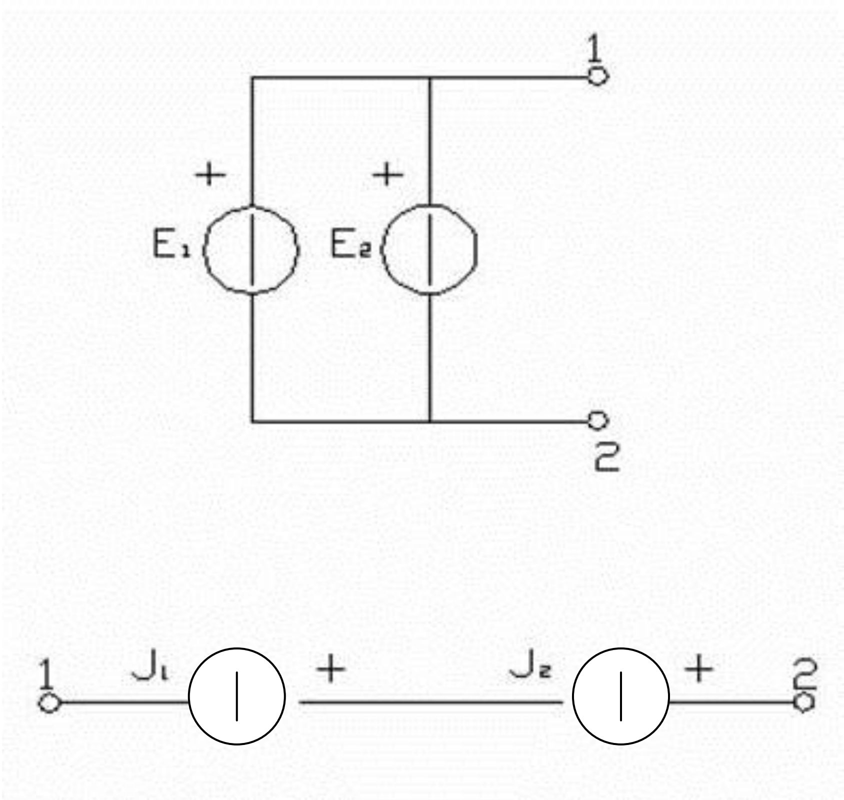
$$R = \infty \;;\; I = 0;$$

Entrambe i circuiti nascono da un’astrazione della modellistica circuitale che in questi casi non può rappresentare la realtà fisica. In realtà nessun generatore reale è privo di resistenza interna, perché in esso hanno sede fenomeni dissipativi. Quindi se ai due generatori colleghiamo le rispettive resistenze interne, si elimina l’assurdità e si ha una rappresentazione che soddisfa le condizioni dettate dal comportamento fisico effettivo.

Inoltre non è possibile collegare

- due generatori ideali di tensione in parallelo se $E_1 \neq E_2$ o
- due generatori ideali di corrente in serie se $I_1 \neq I_2$.

Si tratta di due modelli non riconducibili a condizioni di funzionamento fisiche reali.



Considerando i bipoli dei generatori di tensione con le loro resistenze interne e i bipoli dei generatori di corrente con le loro conduttanze in parallelo, le assurdità scompaiono.

Generatori collegati in serie e in parallelo

I generatori di corrente ideali (privi di conduttanze interne) possono essere collegati in serie se e solo se erogano la stessa corrente, proprio per la definizione stessa di collegamento in serie.
In tal caso la corrente erogata sarà pari a:

$$I_1 = I_2 = I$$

I generatori di tensione ideale (privi di resistenze interne) possono essere collegati in parallelo se e solo se presentano la stessa tensione, proprio per la definizione stessa di collegamento in parallelo.
In tal caso la tensione erogata sarà pari a:

$$U_1 = U_2 = U$$

PRECISAZIONE

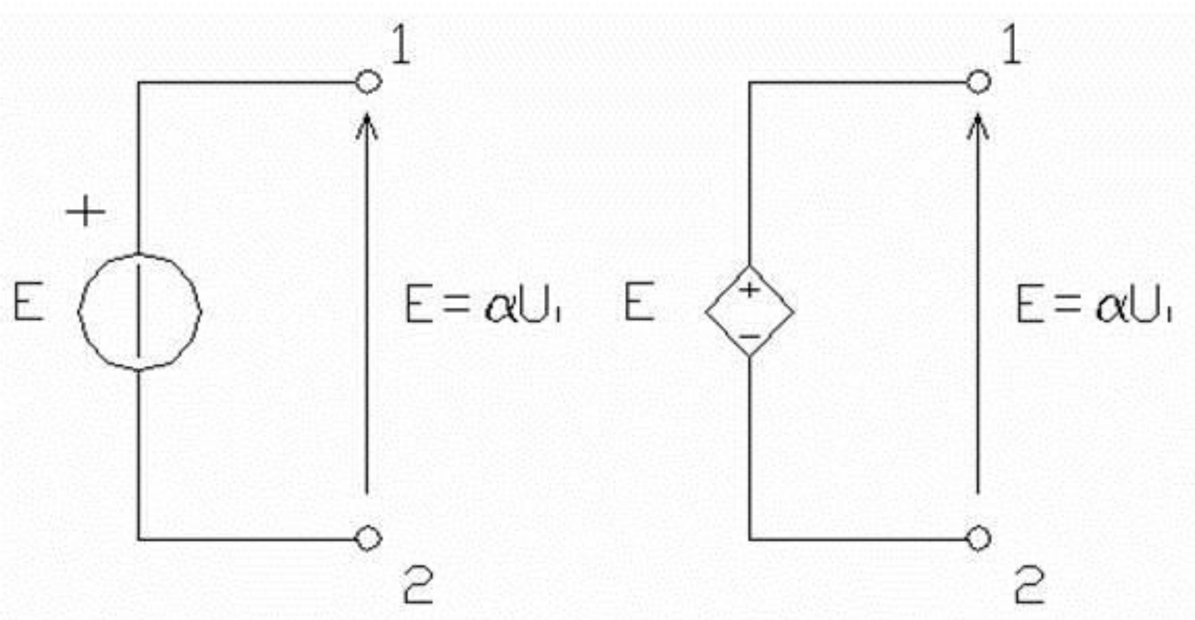
Generatori indipendenti

I generatori indipendenti sono caratterizzati da una tensione o da una corrente dipendente esclusivamente dal tempo.
In caso di generatori in corrente continua, questi sono indipendenti anche dal tempo.

Generatori dipendenti

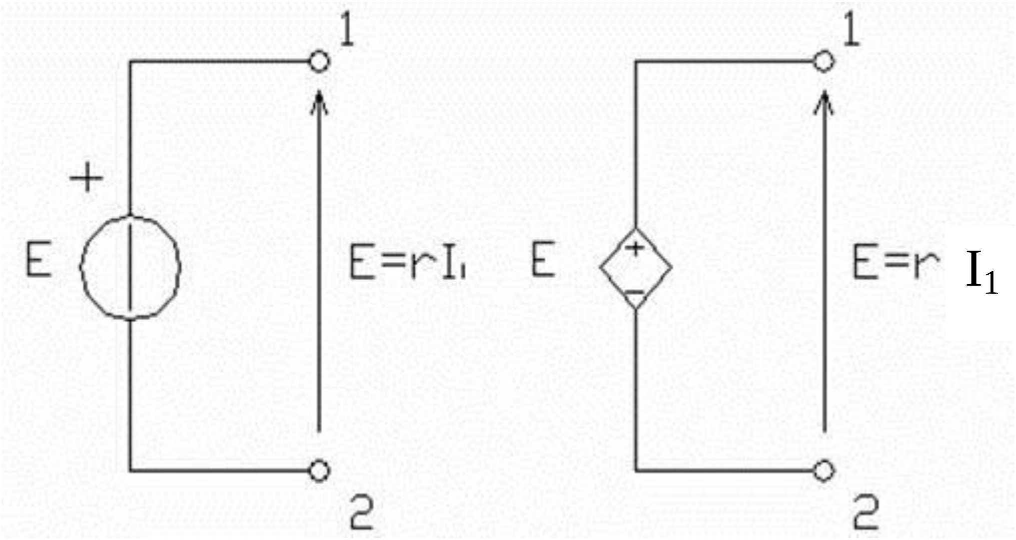
La tensione o la corrente dipendono dal tempo e dalla tensione o dalla corrente presente in un altro punto o ramo del circuito.

Generatore di tensione controllato in tensione (VCVS)



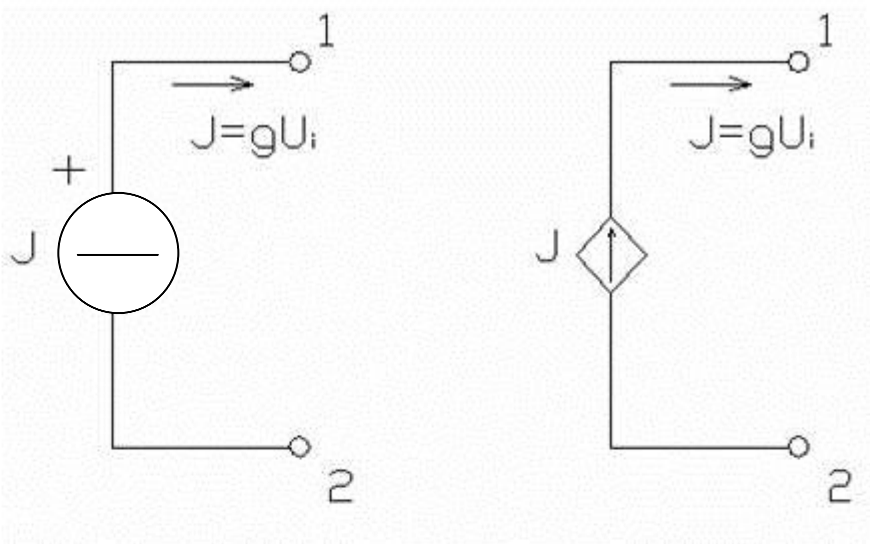
VCVS = Voltage Controlled Voltage Source

Generatore di tensione controllato in corrente (CCVS)



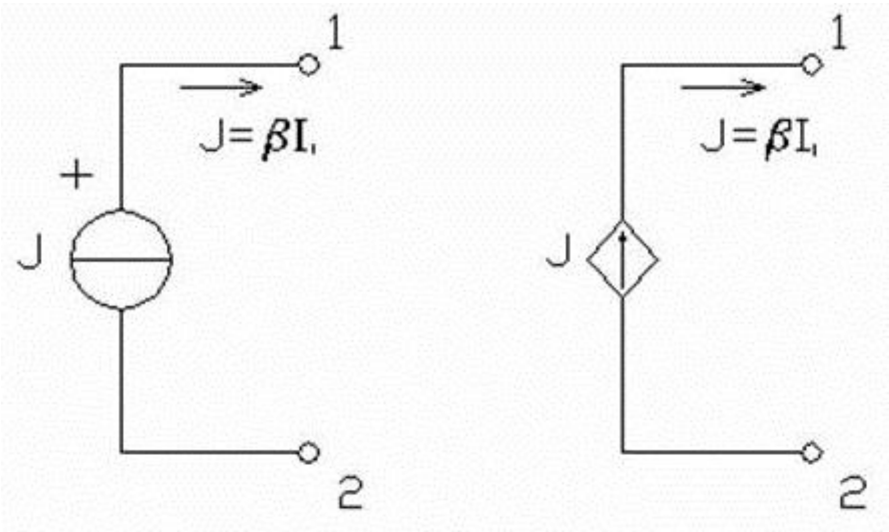
CCVS = Current Controlled Voltage Source

Generatore di corrente controllato in tensione (VCCS)



VCCS = Voltage Controlled Current Source

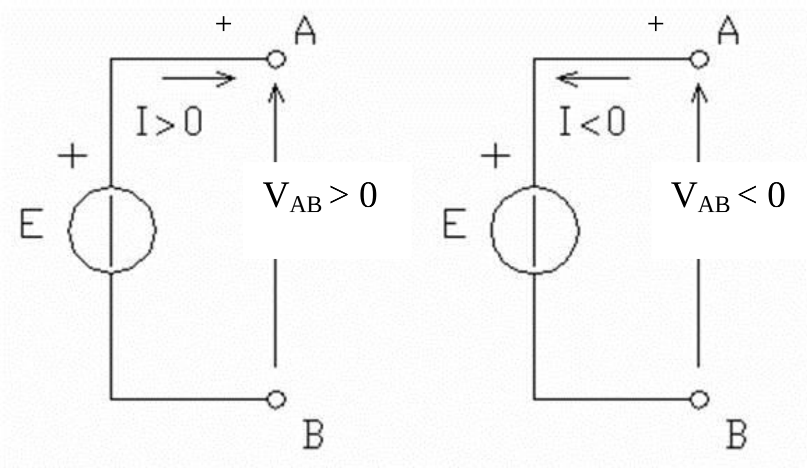
Generatore di corrente controllato in corrente (CCCS)



CCCS = Current Controlled Current Source

CONVENZIONI DI SEGNO DEI BIPOLI

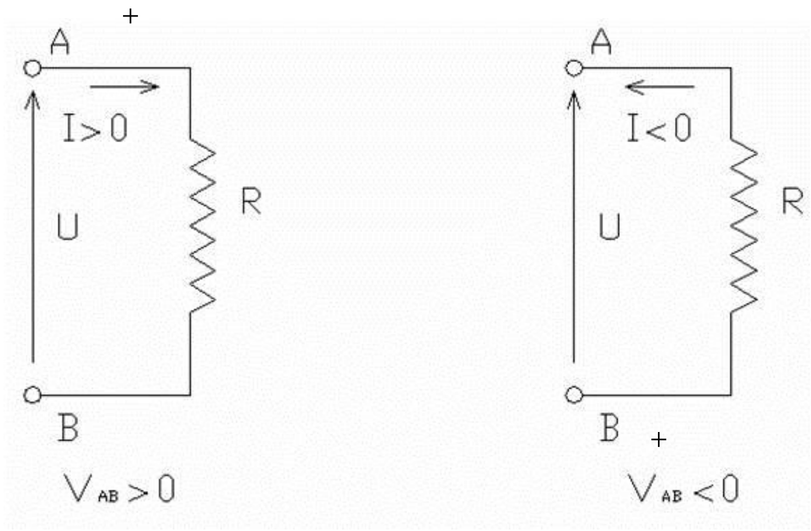
Convenzione dei generatori (bipoli che erogano energia)



$U_{AB} = V_A - V_B$ con $V_A - V_B > 0$ e $V_A > V_B$

La tensione U_{AB} è positiva quando la corrente circola nel bipolo dal morsetto a potenziale minore B, al morsetto a potenziale maggiore A.
<u>Con la ***convenzione dei generatori***, la corrente esce dal morsetto contrassegnato positivo per la tensione.</u>

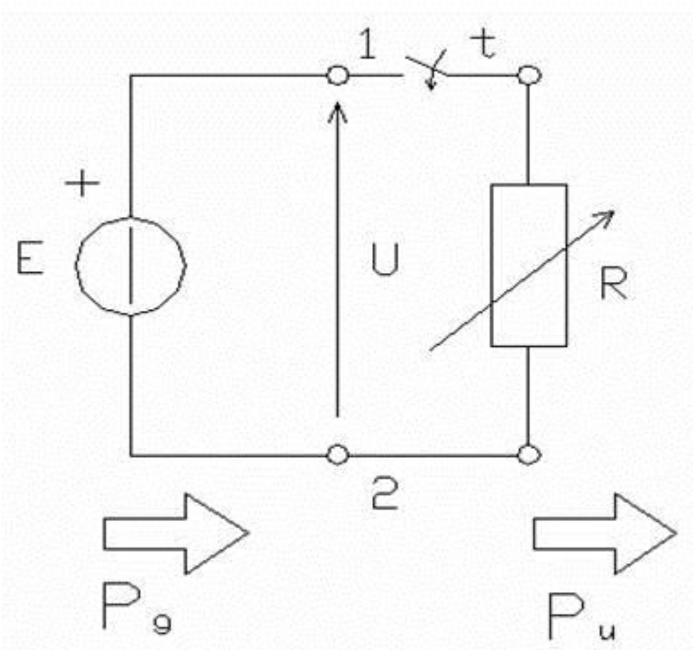
Convenzione degli utilizzatori (bipoli che dissipano energia)



$U_{AB} = V_A - V_B$ con $V_A - V_B > 0$ e $V_A > V_B$

La tensione è positiva quando la corrente circola nel bipolo dal morsetto a potenziale maggiore A, al morsetto a potenziale minore B.
<u>Con la ***convenzione dell'utilizzatore***, la corrente entra nel morsetto contrassegnato positivo per la tensione.</u>

Facendo un **bilancio energetico:** la potenza erogata dal generatore deve essere uguale a quella assorbita dall'utilizzatore.



Bilancio energetico: $P_G = P_U$

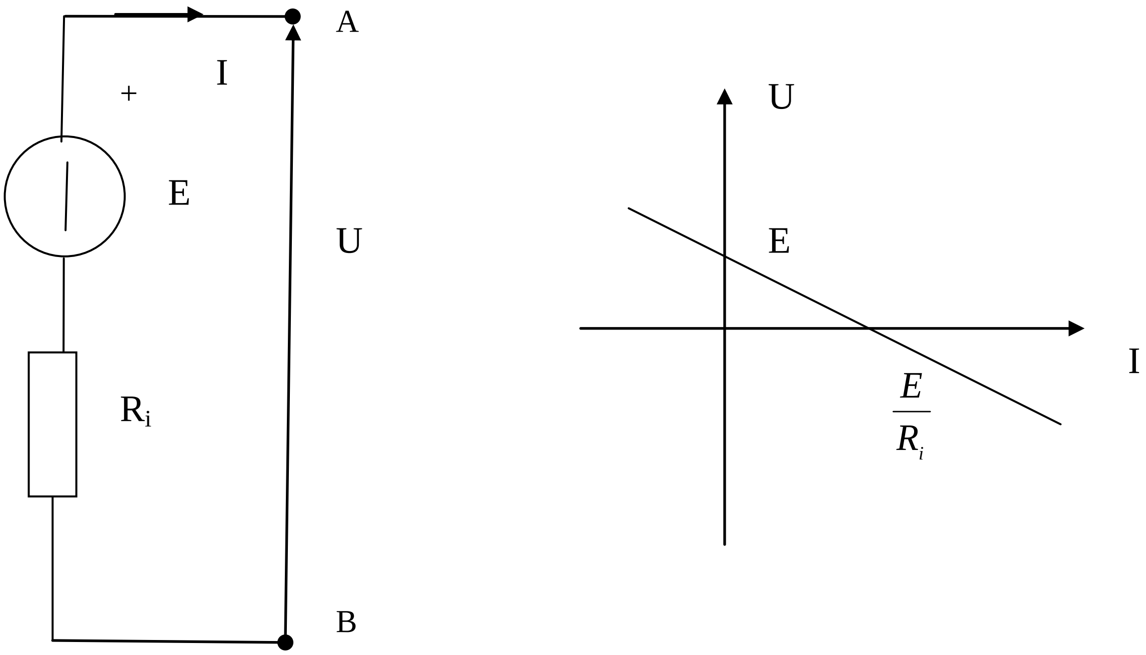
$P_G = UI = EI$ (convenzione dei generatori)

$P_U = UI$ (convenzione degli utilizzatori)

$P_G = P_U$ uguali in valore numerico e segno.

Generatore reale di tensione

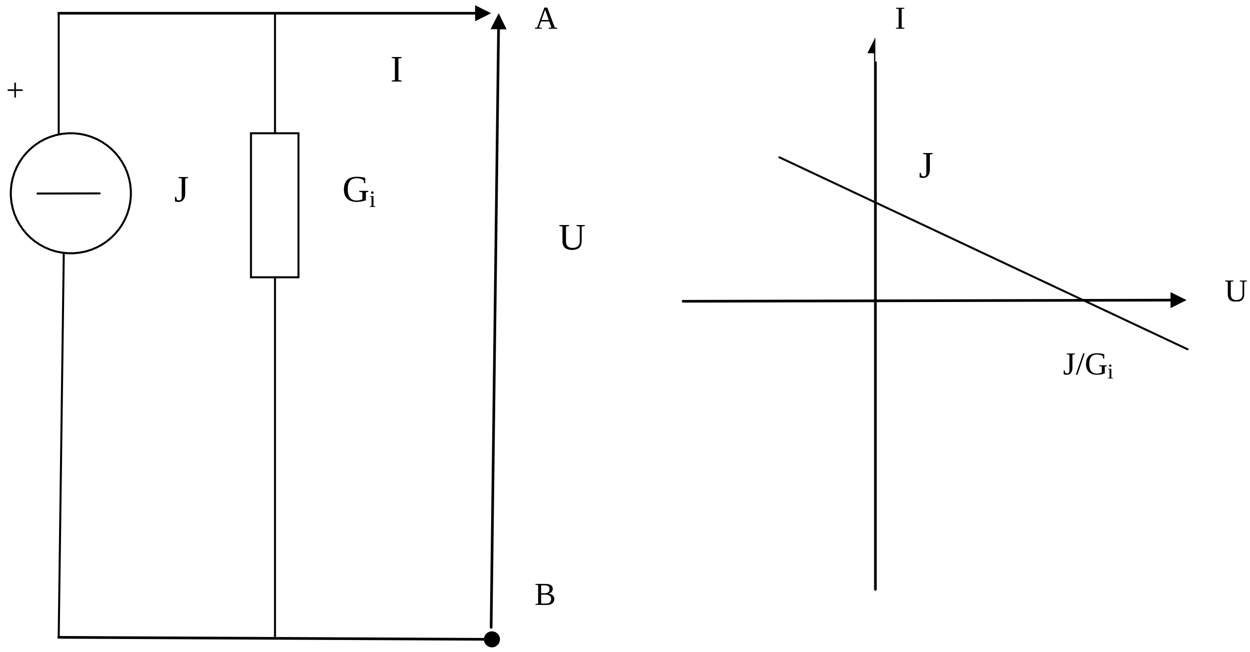
In un generatore reale di tensione si riscalda durante il suo funzionamento a causa delle perdite per effetto per effetto joule nella sua resistenza interna.
Quindi per simulare il comportamento reale occorre inserire in serie nel modello nel generatore reale una resistenza R_i, come riportato in figura.
La caratteristica sarà: $U = E - R_i I$. Essa rappresenta la legge di Ohm applicata ad un bipolo attivo, o legge di Ohm generalizzata.



Modello circuitale e caratteristica di un generatore di tensione reale

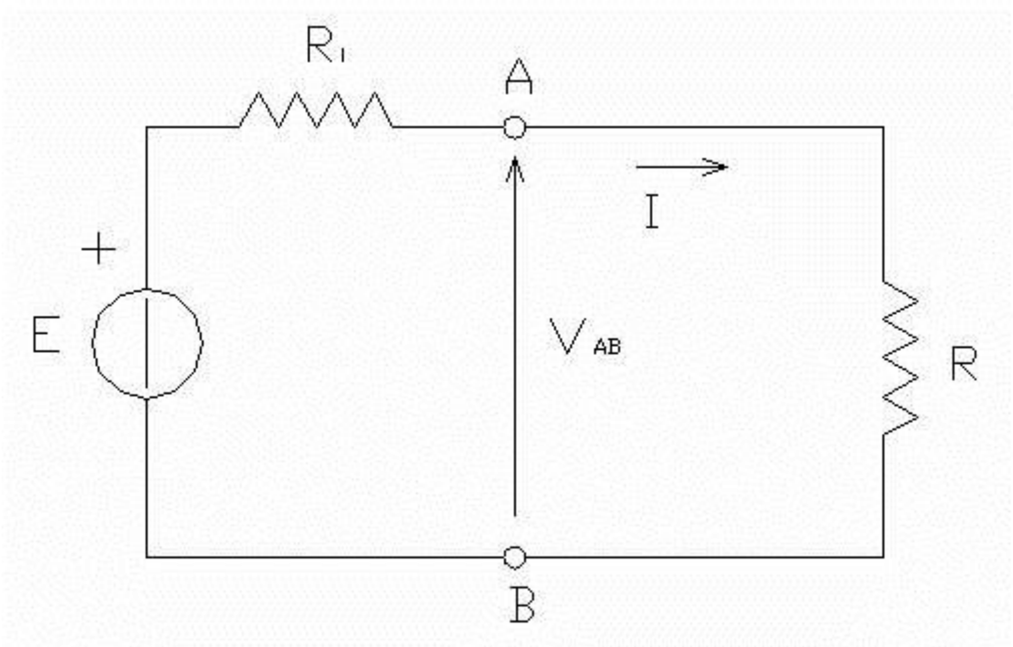
Generatore reale di corrente

Analogamente un generatore reale di corrente si riscalda durante il suo funzionamento a causa delle perdite per effetto per effetto joule nella sua conduttanza interna. Quindi per simulare il comportamento reale occorre inserire in serie nel modello nel generatore reale una conduttanza G_i, come riportato in figura.
La caratteristica sarà: $I = J - G_i U$.



Modello circuitale e caratteristica di un generatore di corrente reale

GENERATORI REALI DI TENSIONE



U = RI Legge di Ohm per il bipolo passivo

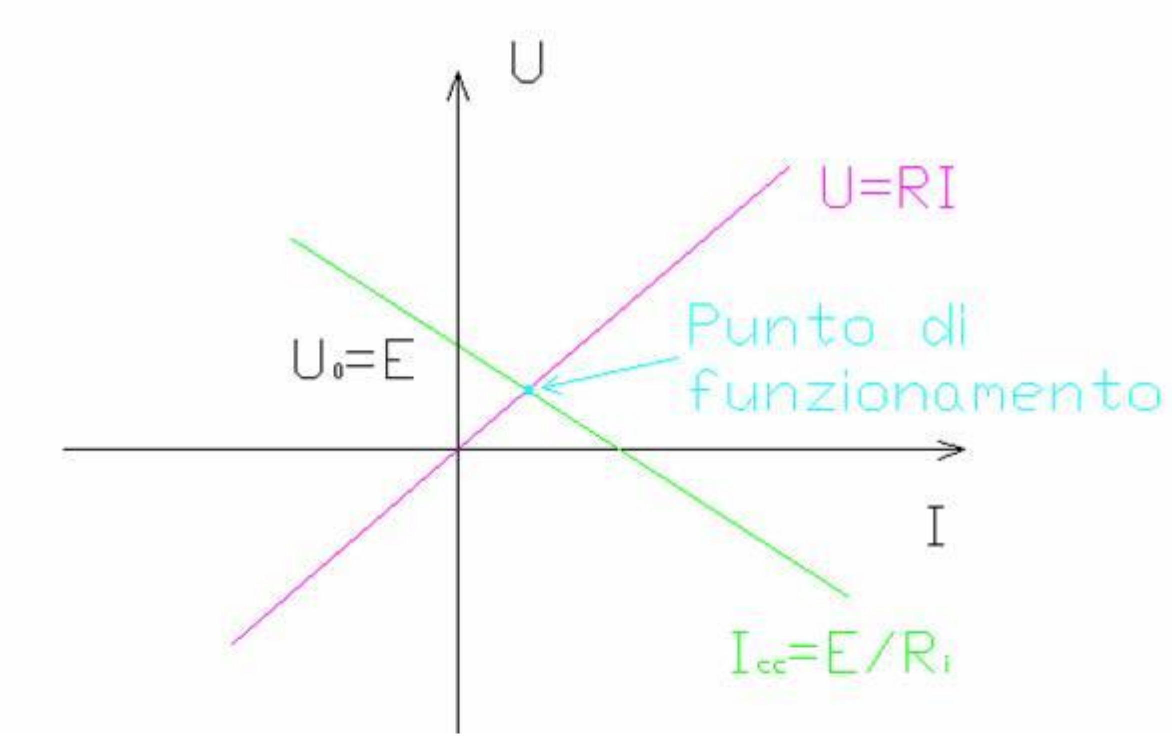
U = E - R$_i$I Legge di Ohm per il bipolo attivo o
Legge di Ohm generalizzata

La resistenza R_i è stata inserita per tener conto delle dissipazioni di energia per effetto Joule all'interno del generatore.

Per tracciare la caratteristica di funzionamento del generatore reale si considerano le seguenti condizioni di funzionamento:

in corto circuito $U = 0$ $\quad I_{cc} = \dfrac{E}{R_i}$

a vuoto: $R = \infty$ $\quad$ $\boldsymbol{I = 0}$ $\quad$ $\boldsymbol{U_0 = E}$



La <u>potenza generata</u> risulta essere:

$$P_G = EI = E\frac{E}{R_i + R} = \frac{E^2}{R_i + R} = (R_i + R)I^2 = P_j + P_u$$

La <u>potenza utilizzata</u> risulta essere:

$$P_u = UI = RI^2 = R\left(\frac{E}{R_i + R}\right)^2$$

Il <u>rendimento</u> sarà:

$$\eta = \frac{P_u}{P_G} = \frac{RI^2}{(R_i + R)I^2} = \frac{R}{(R_i + R)}$$

MASSIMA POTENZA TRASMESSA

Per i circuiti con correnti deboli in regime stazionario, nei quali le potenze sono di piccola entità, è importante rendere massima la potenza trasmessa anche a discapito del rendimento, poiché l'entità della potenza persa nella resistenza interna $\mathbf{R_i}$ è irrilevante.

$$P_u = UI = RI^2 = R\left(\frac{E}{R_i + R}\right)^2$$

Imponendo la condizione di massima potenza trasmessa, ovvero uguagliando a zero la derivata della potenza trasmessa fatta rispetto alla resistenza **R** si ha:

$$\frac{dP_u}{dR} = 0 \qquad \frac{E^2(R+R_i)^2 - 2E^2R(R+R_i)}{(R+R_i)^4} = 0$$

Basterà uguagliare a zero il numeratore della frazione:

$$E^2(R+R_i)^2 - 2E^2R(R+R_i) = 0$$

$$(R+R_i)^2 - 2RR_i - 2R^2 = 0$$

$$R_i^2 - R^2 = 0$$

Quindi dovrà essere: $\boldsymbol{R_i = R}$

La potenza massima sarà: $P_{u\,\max} = \dfrac{E^2}{4R}$

In queste condizioni di adattamento del carico il rendimento sarà pari a:

$$\eta = \frac{R}{(R_i + R)} = \frac{1}{2} = 0.5$$

Circuiti con correnti deboli e circuiti con correnti forti

Lo studio dei sistemi elettrici ed elettronici può essere affrontato sotto due aspetti:

Energia e Informazione

Entrambi gli aspetti presentano gli stessi settori fondamentali:

generazione, trasporto* e *manipolazione, ma

- Il primo aspetto è finalizzato al ***risparmio***: le potenze e le energie che caratterizzano questi sistemi sono consistenti e quindi un requisito fondamentale del sistema è avere un ***buon rendimento*** generalmente indicato con il simbolo η. I sistemi che li realizzano sono ***circuiti con correnti forti***.
- Il secondo aspetto è finalizzato all'***interpretazione della informazione*** contenuta nel segnale: le potenze e le energie che caratterizzano questi sistemi sono relativamente modeste e il requisito fondamentale del sistema deve essere quello di trasmettere i segnali in uscita con la minima attenuazione e deformazione. Lo studio di questi sistemi consiste nel ***Signal Processing Systems*** (Elaborazione e trattamento dei segnali). I sistemi che li realizzano sono ***circuiti con correnti deboli.***

Esempi di circuiti con **correnti deboli**

- Impianti telefonici
- Impianti reti dati in rame ed in fibra ottica
- Impianti reti dati wirless
- Sistemi CED
- Impianti citofonici e videocitofonici tradizionali e digitali
- Impianti rilevazione incendi puntiformi e lineari
- Impianti antintrusione
- Impianti TVcc
- Sale regia e sale di proiezione cinematografica
- Impianti TV terreste e satellitare
- Impianti di telegestione e supervisione
- Impianti controllo accessi
- Impianti di diffusione sonora
- Sistemi di chiamata selettiva

Esempi di circuiti con **correnti forti**

- Impianti elettrici in media tensione
    - Linee di trasmissione in M.T. radiali e ad anello
    - Cabine di trasformazione MT/MT
    - Cabine di trasformazione MT/BT
- Impianti di produzione dell'energia elettrica ed impianti di cogenerazione
- Impianti di forza motrice ed energia industriale
- Impianti elettrici di energia in ambienti speciali
- Impianti elevatori
- Impianti fotovoltaici
- Impianti eolici
- Impianto con gruppi elettrogeni
- Impianti di continuità assoluta con UPS statici
- Impianti di continuità assoluta con gruppi rotanti
- Impianti di protezione scariche atmosferiche
- Impianti illuminotecnici
    - Illuminazione normale
    - Illuminazione di sicurezza
    - Illuminazione di emergenza
- Impianti di illuminazione per grandi aree, vie di transito, raccordi autostradali, gallerie
- Impianti di contabilizzazione dell'energia
- Impianti di terra