



Università degli Studi di Pavia  
Facoltà di Ingegneria

# Corso di Elettrotecnica

## Regime stazionario



## Regime stazionario

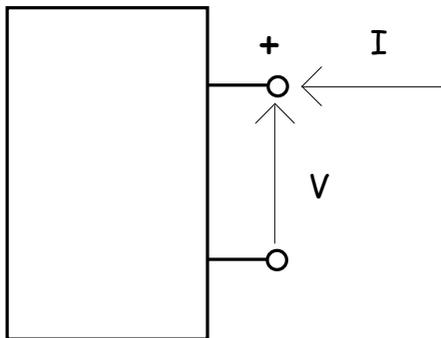
(Regime continuo, in corrente continua, c.c.)

$$v(t) = V \quad ; \quad i(t) = I \quad ; \quad p(t) = P$$

Grandezze e relazioni sono algebriche

### ■ BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

Bipolo = convertitore di potenza  $P_e$  in  $P_{ne}$

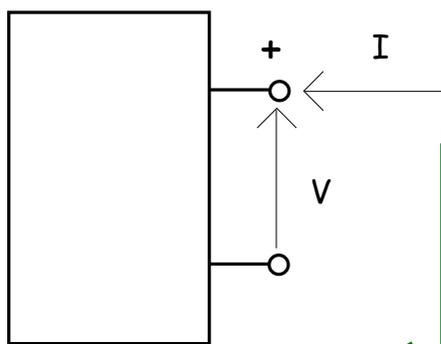


Ad un valore di  $P = P_e$   
il bipolo fa corrispondere  
un solo valore di  $P_{ne}$   
e viceversa

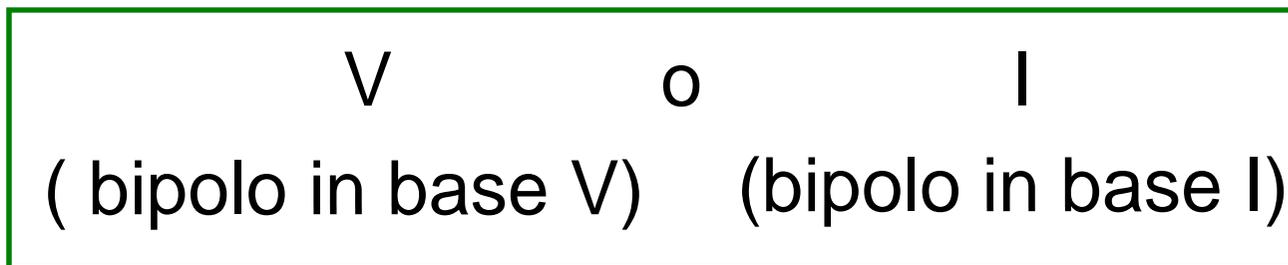


# Regime stazionario

## ■ BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO



Ad un valore di



(grandezza d'ingresso)

il bipolo fa corrispondere uno ed un solo valore di

(grandezza d'uscita)



e quindi di  $P_e$  e quindi di  $P_{ne}$



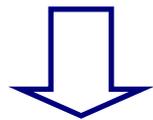
# Regime stazionario

## ■ BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

Il bipolo stabilisce un legame univoco tra  $V$  e  $I$  (fissata una convenzione). Tale legame

-espresso in forma analitica

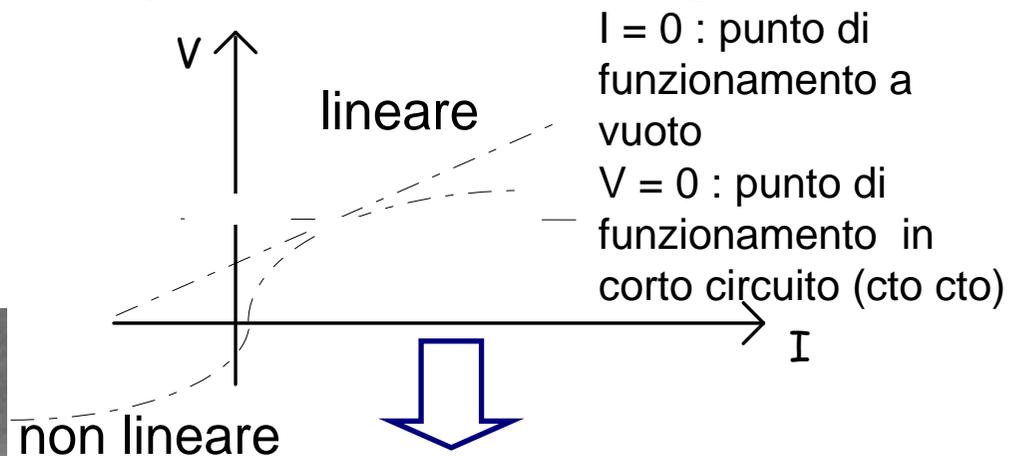
$$V = V(I) \quad , \quad I = I(V)$$



equazione (legge di Ohm)



- espresso in forma grafica



caratteristica elettrica ( $V, I$ ) : punto di funzionamento



## Regime stazionario

### ■ BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

I bipoli si **classificano** in base alle caratteristiche (equazioni di Ohm):

- **bipolo passivo**

se la caratteristica si svolge nel I e III quadrante

- **bipolo lineare o normale**

se la caratteristica è rettilinea

- **bipolo ideale**

se l'equazione di Ohm è descritta da un solo parametro



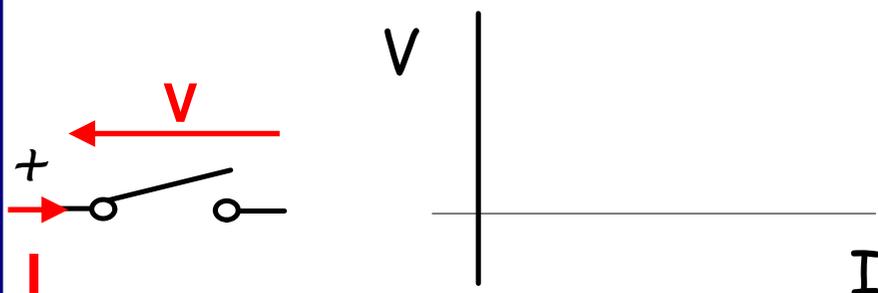
# Regime stazionario

## ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

(convenzione utilizzatori)

### Interruttore ideale aperto

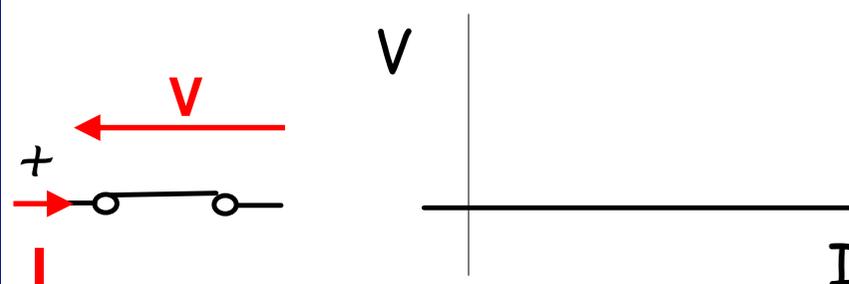
(isolatore ideale)



$$I = 0$$

### Interruttore ideale chiuso

(conduttore ideale)



$$V = 0$$



# Regime stazionario

## ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

(convenzione utilizzatori)

### Diodo ideale

$V < 0, I = 0$   
 $V = 0, I > 0$

### Resistore ideale

$R = \text{resistenza}$   
 $G = \text{conduttanza}$

$V = R I \text{ (Ohm, 1827)}$   
 $I = G V$

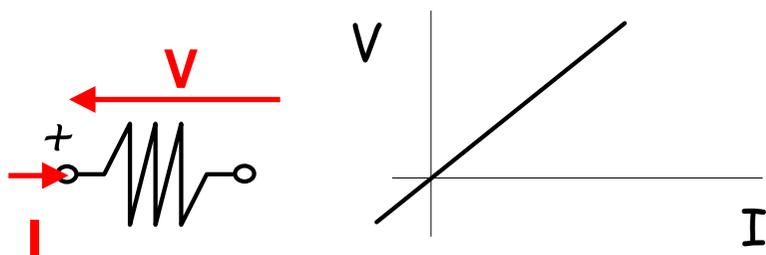


## Regime stazionario

### ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

(convenzione utilizzatori)

#### Resistore ideale



$R > 0$ , R passivo

$R < 0$ , R attivo

$$G = 1 / R$$

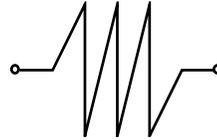
$R = \text{resistenza, } [\Omega] = [V] / [A]$

$G = \text{conduttanza, } [S] = [\Omega^{-1}]$



## Regime stazionario

### ■ TIPI DI RESISTORE



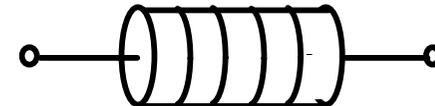
➤ a resistenza fissa ( $R$  aumenta con la temperatura)

#### a polvere di carbone



miscela di polvere di C  
e isolante  
scarsa precisione  
bassa potenza  
(ad es. 500 mW)  
basso costo

#### a film metallico



elica di film metallico su  
ceramica  
buona precisione  
alto costo

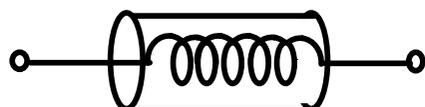


# Regime stazionario

## ■ TIPI DI RESISTORE

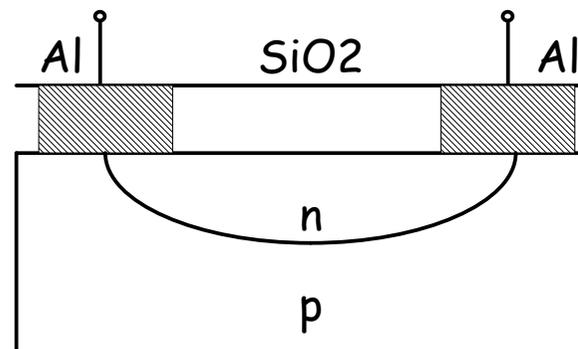


### a filo



filo di Cu  
buona precisione  
alta potenza

### a circuito integrato



due contatti di Al poggiano  
su un sottile strato  
conduttore di Si drogato  
( R da pochi  $\Omega$  a 20 k $\Omega$  )

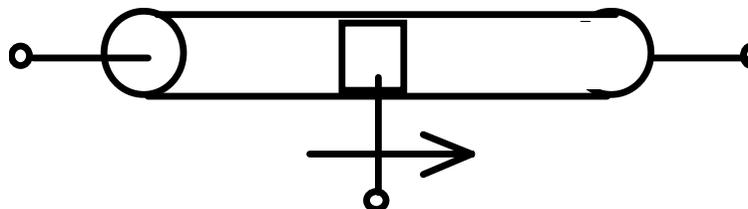
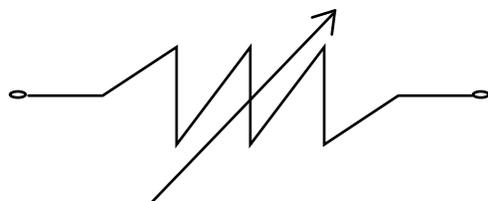


## Regime stazionario

### ■ TIPI DI RESISTORE

- a resistenza variabile (reostato o potenziometro)

a polvere di C o a filo



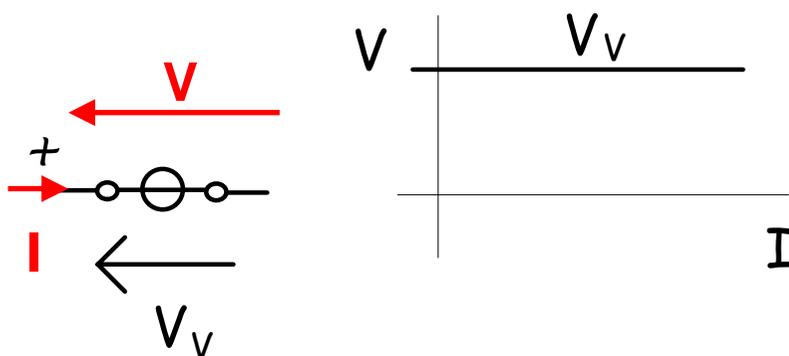


# Regime stazionario

## ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

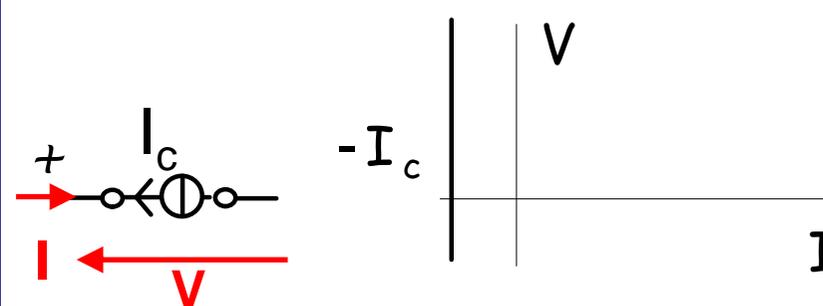
(convenzione utilizzatori)

### Generatore ideale indipendente di V



$V = V_v$  es. Pila

### Generatore ideale indipendente di I



$I = -I_c$  es. Transistore

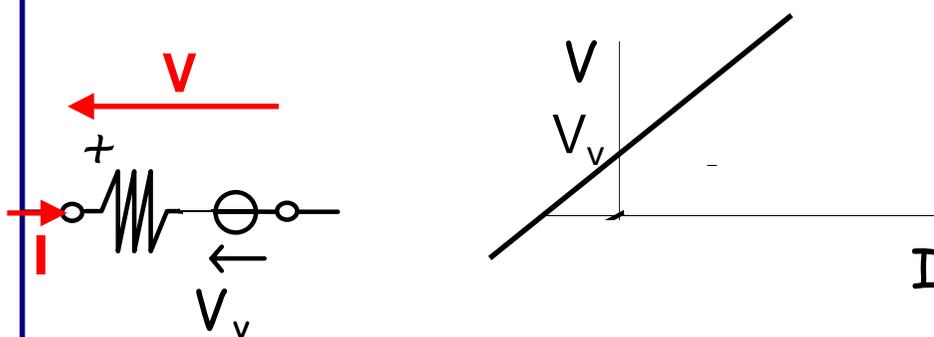


# Regime stazionario

## ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

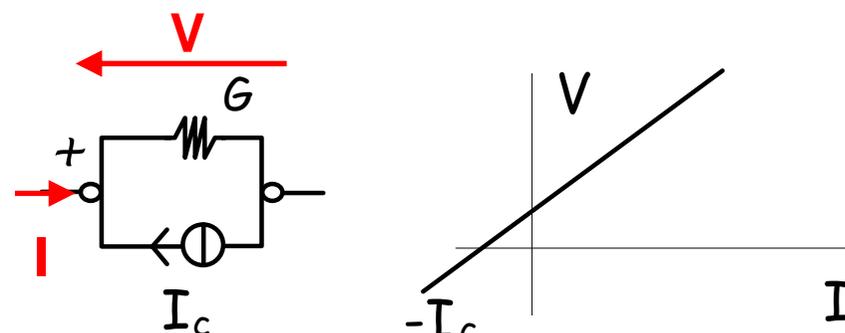
(convenzione utilizzatori)

### Generatore reale normale di V



$$V = V_v + R I$$

### Generatore reale normale di I



$$I = -I_c + G V$$



## Regime stazionario

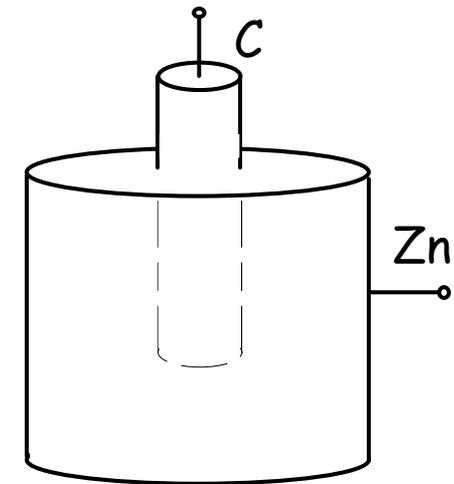
### ■ TIPI DI GENERATORE DI V COSTANTE

#### Pile o batterie

(energia elettrica da energia chimica)

➤ Zn-C (biossido di manganese)  
cloruro di ammonio: economiche

➤ Zn-C (biossido di manganese)  
idrossido di potassio: alcaline,  
durevoli



$$V = 1.5 V$$

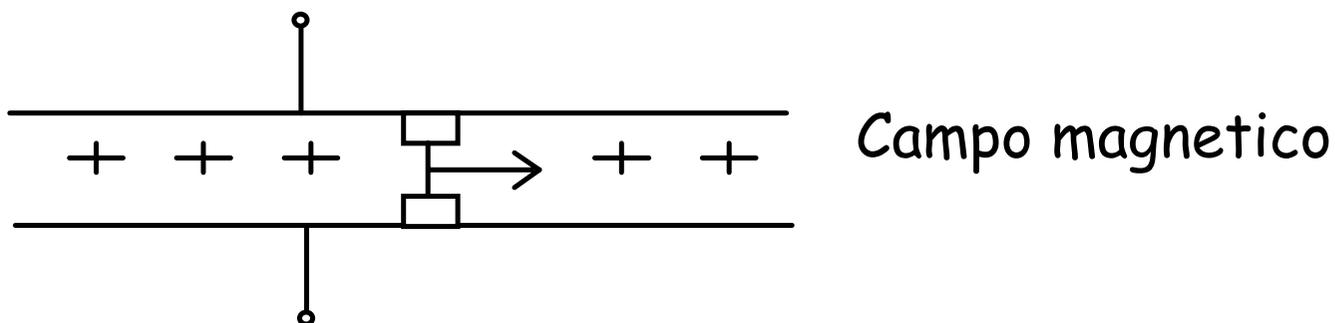


## Regime stazionario

### ■ TIPI DI GENERATORE DI V COSTANTE

#### Macchine

(energia elettrica da energia meccanica)



V elevata

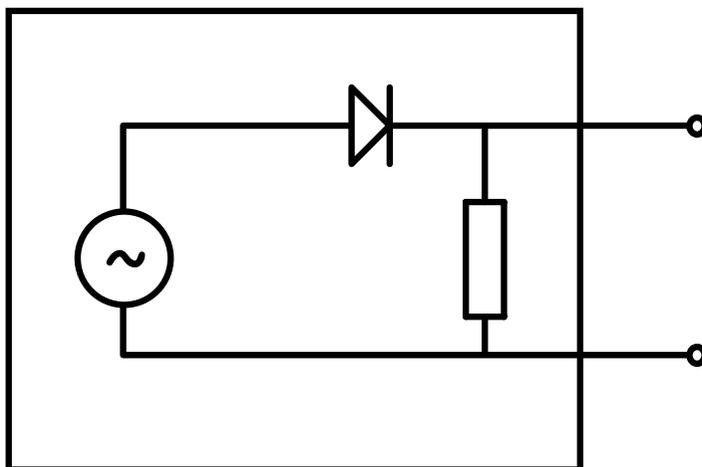


## Regime stazionario

### ■ TIPI DI GENERATORE DI V COSTANTE

#### Alimentatori

(energia elettrica da energia elettrica)



raddrizzatore  
elettronico

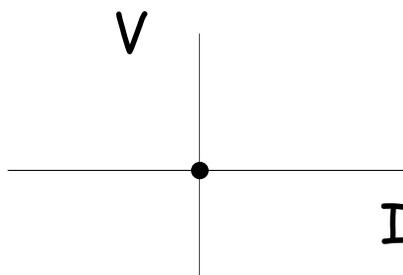
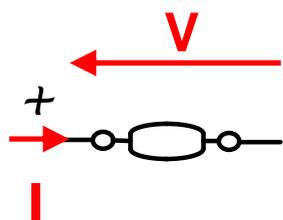


# Regime stazionario

## ■ TIPI DI BIPOLO IN REGIME STAZIONARIO

(convenzione utilizzatori)

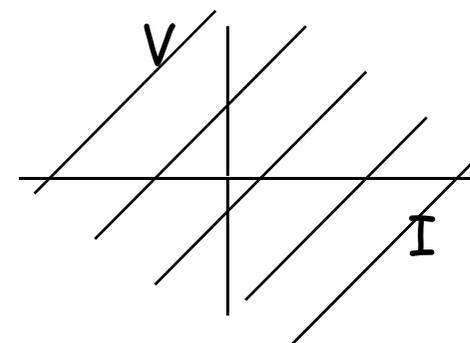
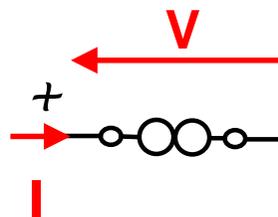
### Nullatore



$$V = 0, I = 0$$

amplificatore  
operazionale  
ideale

### Noratore



$V, I$  qualsiasi

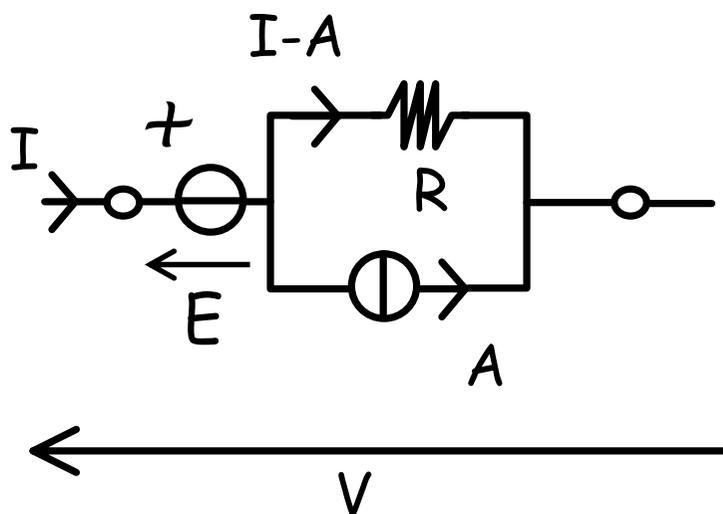


## Regime stazionario

### ■ IL PIÙ GENERICO BIPOLO LINEARE

(convenzione utilizzatori)

in base corrente



$$V = E + R ( I - A )$$

casi particolari:

$$V = E$$

$$V = R I$$

$$V = E + R I$$

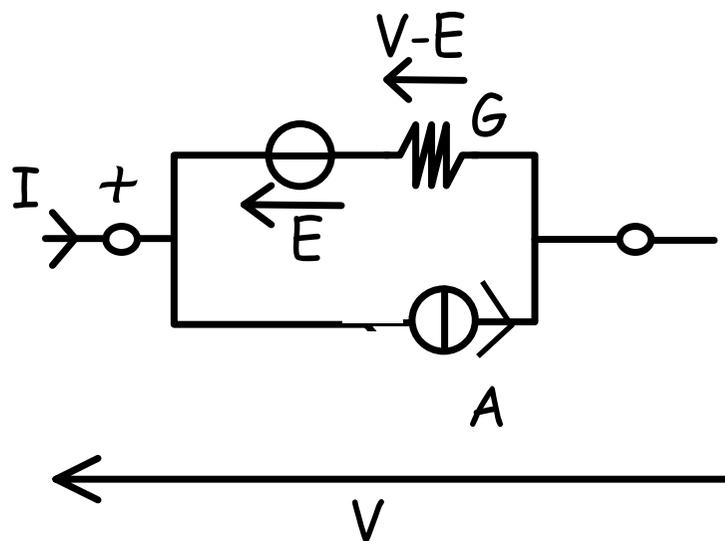


## Regime stazionario

### ■ IL PIÙ GENERICO BIPOLO LINEARE

(convenzione utilizzatori)

**in base tensione**



$$I = A + G ( V - E )$$

casi particolari:

$$I = A$$

$$I = G V$$

$$I = A + G V$$



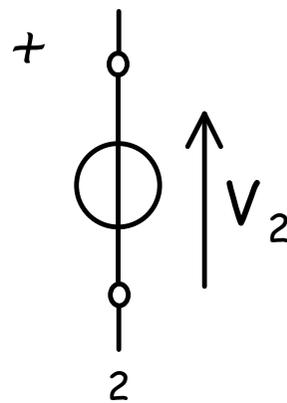
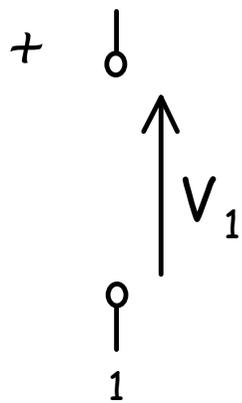
## Regime stazionario

### ■ GENERATORI DIPENDENTI (O COMANDATI)

Sono doppi bipoli (sistema con 2 coppie di morsetti)

Si suppongono ideali e lineari

### Generatore di $V$ comandato da $V$



$$V_2 = \alpha V_1$$

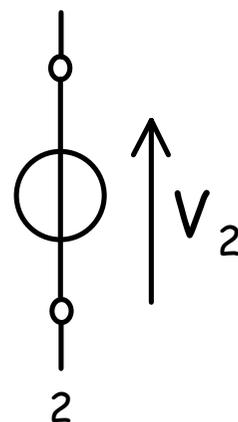
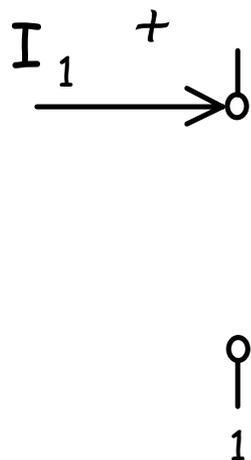
$\alpha$  = funzione di  
trasferimento  
(adimensionale)



## Regime stazionario

### ■ GENERATORI DIPENDENTI (O COMANDATI)

#### Generatore di $V$ comandato da $I$



$$V_2 = R_m I_1$$

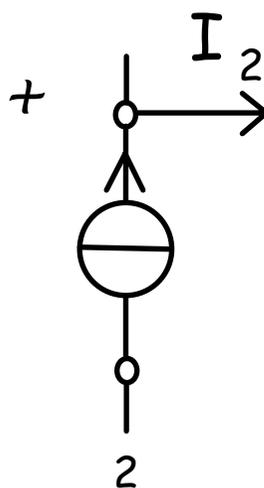
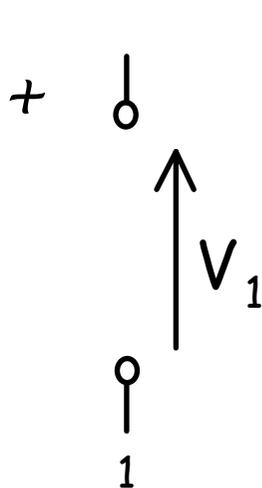
$R_m$  = resistenza  
mutua



## Regime stazionario

### ■ GENERATORI DIPENDENTI (O COMANDATI)

#### Generatore di I comandato da V



$$I_2 = G_m V_1$$

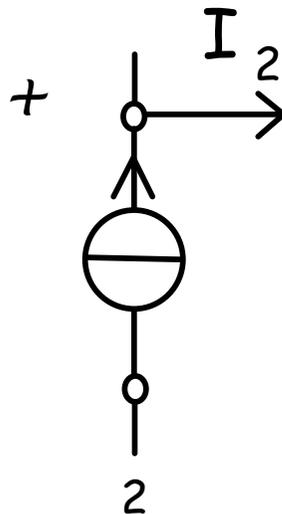
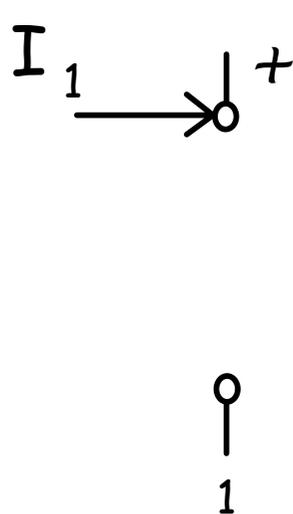
$G_m$  = conduttanza  
mutua



## Regime stazionario

### ■ GENERATORI DIPENDENTI (O COMANDATI)

#### Generatore di I comandato da I



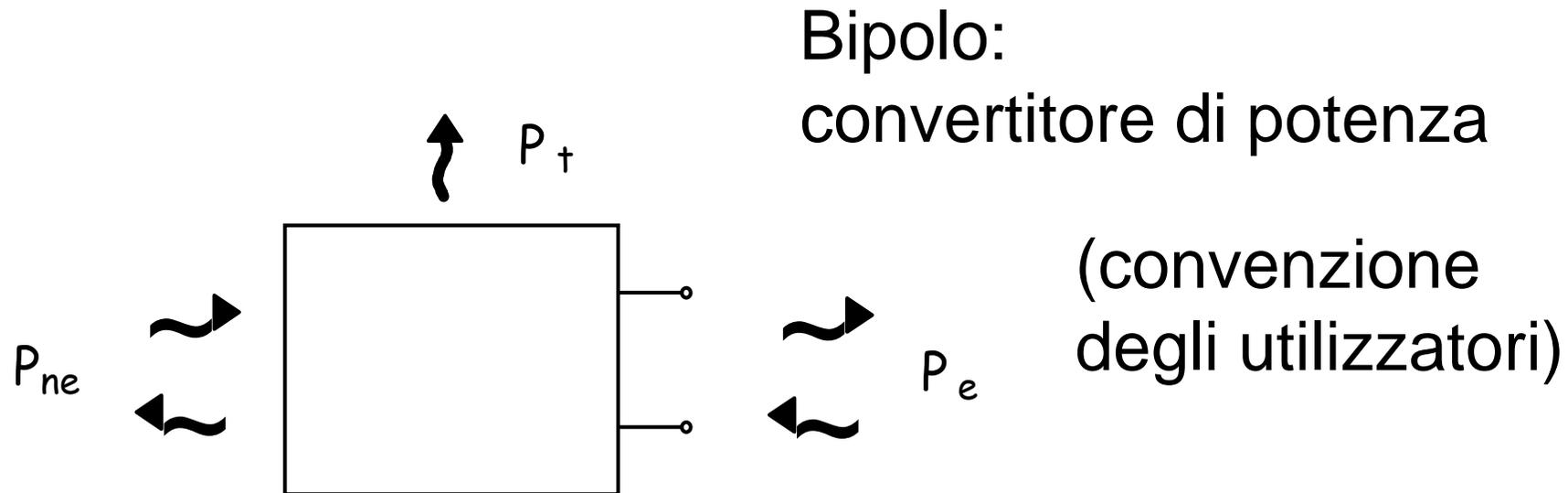
$$I_2 = \beta I_1$$

$\beta$  = funzione di  
trasferimento  
(adimensionale)



# Regime stazionario

## ■ BILANCIO ENERGETICO



bilancio:  $P_e = P_{ne} + P_t$



## Regime stazionario

### ■ BILANCIO ENERGETICO

Si definiscono 2 tipi di bipoli:

➤ **bipoli tipo serie** o inoperosi a vuoto  
se  $I = 0$ ,  $P_e = P_{ne} = P_t = 0$

➤ **bipoli tipo parallelo** o inoperosi in cto cto  
se  $V = 0$ ,  $P_e = P_{ne} = P_t = 0$



## Regime stazionario

### ■ UTILIZZATORE LINEARE PASSIVO

Trasforma  $P_e$  in  $P_t$

bilancio:  $P_e = P_t$  con  $P_e = V I$



Si trova sperimentalmente (Joule, 1840-48)

$$Q_t = R I^2 \Delta t \quad (\text{J})$$

$$P_t = Q_t / \Delta t = R I^2$$

$$V I = R I^2$$

$$\text{da cui } V = R I$$

$R =$  Resistenza (energetica)

$$R > 0$$

ma anche  $P_t = G V^2$

da cui

$$I = G V$$



## Regime stazionario

### ■ UTILIZZATORE LINEARE ATTIVO

Bipolo di tipo serie

Trasforma  $P_e$  in  $P_{ne}$  e  $P_t$

bilancio:  $P_e = P_{ne} + P_t$  con  $P_e = V I$  e  $P_t = R I^2$

Affinchè  $P_{ne}$  sia  $= 0$ , se  $I = 0$

$I$  deve essere un fattore di  $P_{ne} \Rightarrow P_{ne} = I E$

forza elettromotrice (V)

tensione impressa

$$V I = E I + R I^2 \quad \Rightarrow \quad V = E + R I$$



## Regime stazionario

### ■ UTILIZZATORE LINEARE ATTIVO

Bipolo di tipo parallelo

Trasforma  $P_e$  in  $P_{ne}$  e  $P_t$

bilancio:  $P_e = P_{ne} + P_t$  con  $P_e = V I$  e  $P_t = G V^2$

Affinchè  $P_{ne}$  sia  $= 0$ , se  $V \neq 0$

$V$  deve essere un fattore di  $P_{ne} \Rightarrow P_{ne} = V A$

corrente impressa

$$V I = V A + G V^2 \quad \Rightarrow \quad I = A + G V$$