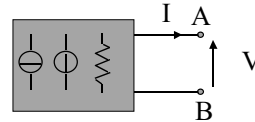


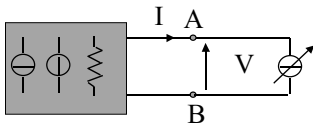
## Lezione 17

Una qualsiasi rete vista da due suoi  
morsetti

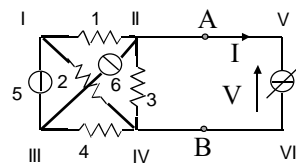


È un bipolo!

Alimentata dall'esterno

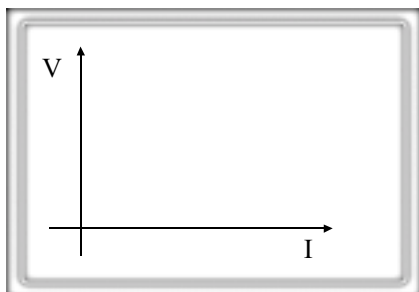


Alimentata da un generatore di  
corrente variabile

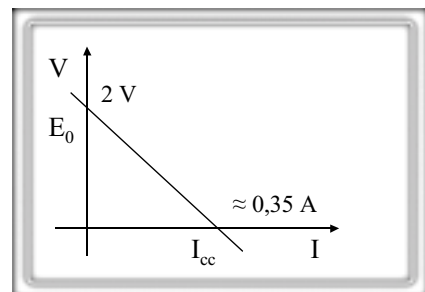


$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \, \Omega; \\ R_2 &= 10 \, \Omega; \\ R_3 &= 10 \, \Omega; \\ R_4 &= 5 \, \Omega; \\ E_5 &= 10 \, \text{V}; \\ I_6 &= 0.2 \, \text{A}. \end{aligned}$$

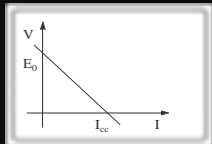
La caratteristica nel piano (I,V).



La caratteristica nel piano (I,V).

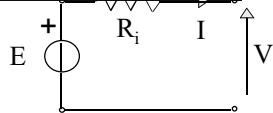


Il gen. ideale di f.e.m. con una resistenza in serie.



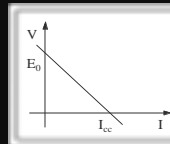
$$E_0 = E.$$

$$V = E_0 - R_i I$$



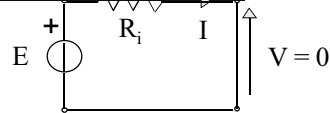
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 7

La corrente di corto circuito.



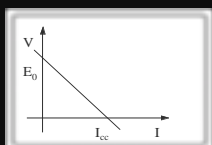
$$I_{cc} = E_0 / R_i;$$

$$R_i = E_0 / I_{cc}.$$

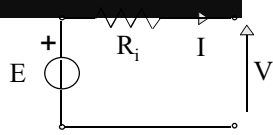


Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 8

Il gen. ideale di f.e.m. con una resistenza in serie.

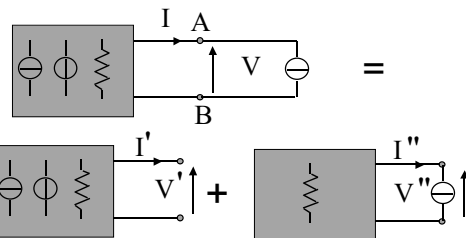


$$V = E_0 - I \frac{E_0}{I_{cc}}$$



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 9

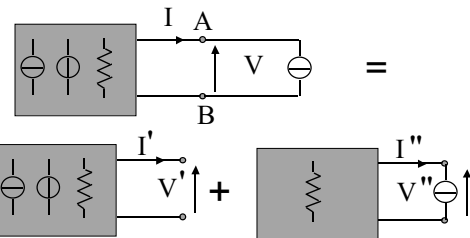
Applicando la sovrapposizione degli effetti



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 10

$$I = I' + I'' = I''' = - \frac{V''}{R_e}$$

$$V = V' + V'' = E_0 + V'' = E_0 - R_e I$$



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 11

Teorema del generatore equivalente di f.e.m.

- Una rete attiva vista da due suoi morsetti A e B è equivalente ad una rete con un generatore ideale di f.e.m. con in serie un resistore.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 12

### Teorema del generatore equivalente di f.e.m.

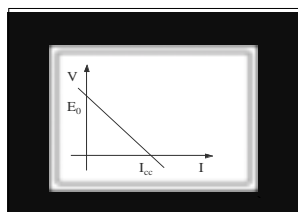
- Il generatore di f.e.m. ha una tensione ai morsetti pari alla tensione a vuoto  $E_0$  nella rete originaria.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 13

### Teorema del generatore equivalente di f.e.m.

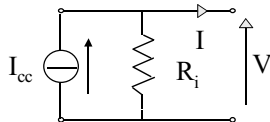
- Il resistore ha una resistenza pari a quella vista dai morsetti A e B quando la rete è stata resa passiva, e cioè i generatori di f.e.m. sono stati sostituiti da corto circuiti e quelli di corrente da bipoli a vuoto.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 14



Il generatore ideale di corrente con una resistenza in parallelo.

$$I = I_{cc} - \frac{V}{R_i}$$



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 15

### Teorema del generatore equivalente di corrente.

- Una rete attiva vista da due suoi morsetti A e B è equivalente ad una rete costituita da un generatore ideale di corrente con in parallelo un resistore.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 16

### Teorema del generatore equivalente di corrente.

- Il generatore di corrente eroga una corrente pari alla corrente di corto circuito  $I_{cc}$  ai morsetti A e B nella rete originaria.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 17

### Teorema del generatore equivalente di corrente.

- Il resistore ha una resistenza pari a quella vista dai morsetti A e B quando la rete è stata resa passiva, e cioè i generatori di f.e.m. sono stati sostituiti da corto circuiti e quelli di corrente da bipoli a vuoto.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 18

### Un esempio

$R_1 = 5 \Omega;$   
 $R_2 = 10 \Omega;$   
 $R_3 = 15 \Omega;$   
 $R_4 = 5 \Omega;$   
 $E_1 = 90 \text{ V};$   
 $E_2 = 100 \text{ V}.$

$E_0 = 91,67 \text{ V};$   
 $R_c = 4,17 \Omega.$   
 $I_1 = 8 \text{ A};$   
 $I_2 = -2 \text{ A};$   
 $I_4 = 10 \text{ A};$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 19

### Un esempio.

$E_0 = E_1 - R_1 I_1 =$   
 $= E_1 - R_1 \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} =$   
 $= 91,67 \text{ V}$

$R_1 = 5 \Omega;$   
 $R_2 = 10 \Omega;$   
 $R_3 = 15 \Omega;$   
 $R_4 = 5 \Omega;$   
 $E_1 = 90 \text{ V};$   
 $E_2 = 100 \text{ V}.$

$I_4 = 10 \text{ A};$   
 $E_0 = 91,67 \text{ V};$   
 $R_c = 4,17 \Omega.$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 20

### Un esempio

$R_c = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = 4,17 \Omega.$

$R_1 = 5 \Omega;$   
 $R_2 = 10 \Omega;$   
 $R_3 = 15 \Omega;$   
 $R_4 = 5 \Omega;$   
 $E_1 = 90 \text{ V};$   
 $E_2 = 100 \text{ V}.$

$I_4 = 10 \text{ A};$   
 $E_0 = 91,67 \text{ V};$   
 $R_c = 4,17 \Omega.$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 21

### Un esempio

$I_4 = \frac{E_0}{R_c + R_4} =$   
 $= \frac{91,67}{4,17 + 15} = 9,9967 \text{ A};$

$R_1 = 5 \Omega;$   
 $R_2 = 10 \Omega;$   
 $R_3 = 15 \Omega;$   
 $R_4 = 5 \Omega;$   
 $E_1 = 90 \text{ V};$   
 $E_2 = 100 \text{ V}.$

$I_4 = 10 \text{ A};$   
 $E_0 = 91,67 \text{ V};$   
 $R_c = 4,17 \Omega.$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 22

## Altre proprietà delle reti lineari.

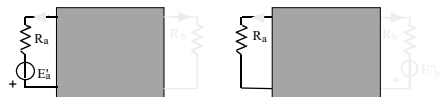
### Teorema di reciprocità

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 23

## Enunciato del teorema di reciprocità

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 24

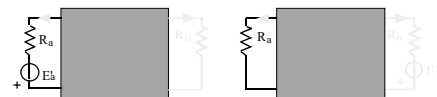
## Enunciato del teorema di reciprocità



$$\frac{E'_a}{I'_b} = \frac{E''_b}{I''_a}$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 25

## Dimostrazione del teorema di reciprocità

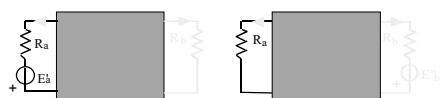


$$\sum_k V'_k I''_k = -E'_a I''_a + R_a I'_a I''_a + \sum_{k \neq a} R_k I'_k I''_k = 0$$

$$\sum_k V''_k I'_k = -E''_b I'_b + R_b I''_b I'_b + \sum_{k \neq b} R_k I''_k I'_k = 0$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 26

## Dimostrazione del teorema di reciprocità

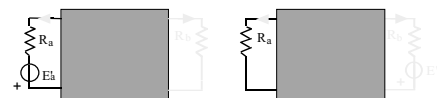


$$\sum_k V'_k I''_k = -E'_a I''_a + \sum_k R_k I'_k I''_k = 0$$

$$\sum_k V''_k I'_k = -E''_b I'_b + \sum_k R_k I''_k I'_k = 0$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 27

## E quindi la tesi!



$$\frac{E'_a}{I'_b} = \frac{E''_b}{I''_a}$$



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 28

## Riepilogo della Lezione 17

- o Caratterizzazione esterna delle reti attive;
- o Teorema del generatore equivalente di f.e.m.;
- o Teorema del generatore equivalente di corrente;
- o Un esempio;
- o Teorema di reciprocità;

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 29

## Fine della Lezione 17

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 30

## Lezione 18

## I resistori nella realtà



## Multipli e sottomultipli

$10^{12}$	tera	T	$10^{-3}$	milli	m
$10^9$	giga	G	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^6$	mega	M	$10^{-9}$	nano	n
$10^3$	kilo	k	$10^{-12}$	pico	p

## I resistori e la potenza

$$P = R I^2 \quad R = \rho \frac{L}{S}$$

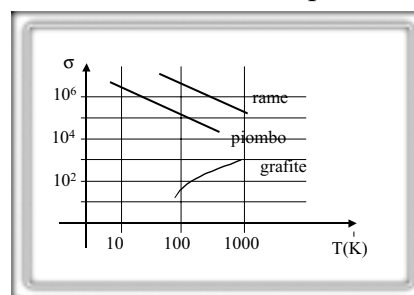
## Equilibrio termico

$$P = R I^2 = k S (T - T_0)$$



Ma la resistività varia con la temperatura

## La resistività e la temperatura



## L'approssimazione lineare

$$\rho = \rho_{T_0} [1 + \alpha_{T_0} (T - T_0)]$$

$$\rho(T) = \rho(T_0) + \rho'(T)|_{T_0} (T - T_0) + \dots$$

Per il rame (elettrolitico)  $\alpha_{20^\circ} = 0,0038 \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 37

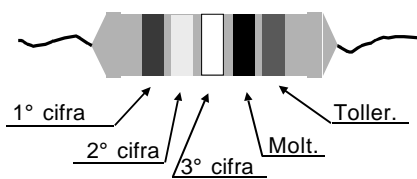
## Equilibrio termico

$$R_{T_0} [1 + \alpha_{T_0} (T - T_0)] I^2 = k S (T - T_0)$$



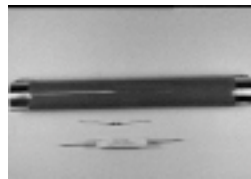
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 38

## Il codice a barre.



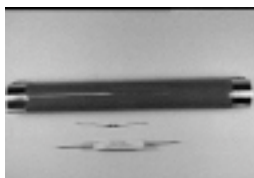
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 39

## I resistori e la tensione



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 40

## I resistori e la tensione

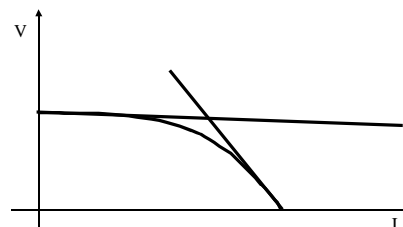


Rigidità dielettrica  $E_c$

Per l'aria in condizioni normali  $E_c \approx 25 \text{ kV/cm}$ .

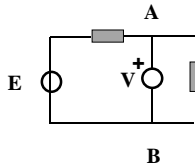
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 41

## I generatori ideali e quelli reali!



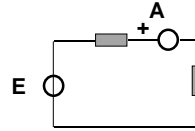
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 42

## Voltmetro



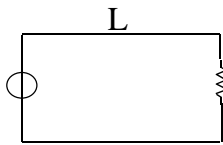
Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 43

## Amperometro



Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 44

## I collegamenti tra i bipoli

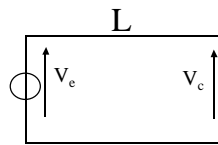


La resistenza dei conduttori dipende dalla loro lunghezza e dalla sezione oltre che, naturalmente, dalla resistività del materiale di cui sono fatti.

$$R = 2 \rho L / S$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 45

## Tre problemi

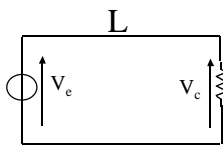


- La tensione  $V_c$  non è uguale a  $V_e$ !
- La potenza fornita dal generatore è in parte dissipata dalla linea!
- Per effetto di tale potenza i conduttori si riscaldano!

$$R = 2 \rho L / S$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 46

## Primo problema



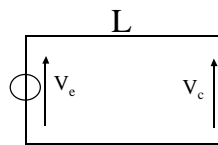
- La tensione  $V_c$  non è uguale a  $V_e$ !

$$\begin{aligned} \Delta V &= 2 (\rho L / S) I = \\ &= 2 (\rho L / S) J S = \\ &= 2 \rho L J. \end{aligned}$$

$$R = 2 \rho L / S$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 47

## Secondo problema



- La potenza fornita dal generatore è in parte dissipata dalla linea!

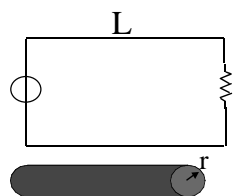
$$\begin{aligned} \Delta P &= 2 (\rho L / S) I^2 = \\ &= 2 (\rho L / S) J^2 S^2 = \\ &= 2 \rho L J^2 S \end{aligned}$$

$$R = 2 \rho L / S$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 48



### Terzo problema



- Per effetto della potenza dissipata i conduttori si riscaldano!

$$\Delta P = 2 (\rho L / S) I^2 = 2 \rho L k \Delta T.$$

$$R = 2 \rho L / S$$

$$\Delta T = \rho r J^2 / (2 k)$$

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 49



### Riepilogo della Lezione 18

- Confronto tra bipoli ideali e componenti reali;
- Resistori;
- Generatori;
- Proporzionamento dei conduttori.

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 50



Fine della  
Lezione 18

Introduzione ai circuiti aa 2003/2004 slide n. 51

