

Elettrotecnica
Ingegneria Meccanica
Ingegneria Chimica
A.A 2019/2020

Libro di testo

Circuiti elettrici, Renzo Perfetti, Zanichelli (circuiti)

Altri testi:

Elettrotecnica e Applicazioni, G. Fabricatore, Liguori editore (macchine)

Elettrotecnica. Principi e applicazioni, Giorgio Rizzoni, Mc Graw Hill

Barbara Cannas

070 675 5858

barbara.cannas@unica.it

Modulo Google per inserire dati

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdrst9FcydxzKvlnEcKGxA0axXaAy8gRcRAqQFWxaRj8VMecw/viewform?usp=pp_url

- Elettrotecnica: prolungamento della teoria classica dell'elettromagnetismo per lo studio e lo sviluppo delle applicazioni.
- Alla fine dell'ottocento
 - nasce la 'Teoria delle reti' che sostituisce le equazioni dell'elettromagnetismo con modelli in cui compare la sola variabile tempo. Nascono gli strumenti di analisi e di progetto che verranno utilizzati con l'imminente utilizzo pubblico dell'energia elettrica.
 - le 'Applicazioni elettromeccaniche' facevano riferimento al modello elettromagnetico nella sua interezza per lo studio della conversione elettromeccanica dell'energia e delle macchine elettriche.

Un libro di Elettrotecnica dei primi anni del '900 era una somma delle conoscenze di elettromagnetismo applicato.

L'evoluzione tecnologica porta poi alla nascita di nuove discipline: teoria delle reti, costruzioni elettromeccaniche, conversione dell'energia, impianti elettrici, comunicazioni elettriche, misure elettriche, elettronica, etc. a cui corrispondono corsi specialistici per allievi dei settori elettrici della facoltà di Ingegneria.

Oggi l'Elettrotecnica si occupa degli aspetti di base comuni alle discipline da essa derivate.

Obiettivo del corso: fornire al non specialista una conoscenza dell'Elettrotecnica e di alcune applicazioni. Le diverse branche dell'ingegneria sono state influenzate dalla penetrazione di dispositivi elettrici ed elettronici.

Argomenti

- Introduzione: modello a parametri concentrati, tensione e corrente, potenza ed energia
- Componenti e leggi fondamentali
- Analisi delle reti elettriche:
 - Reti in regime stazionario (convenzioni, generatori, resistori e amplificatori operazionali, le equivalenze, la sovrapposizione degli effetti, teoremi, metodi analisi)
 - Reti in regime sinusoidale (induttori, condensatori, fasori, le impedenze, potenze, teoremi, metodi di analisi, applicazioni, cenni di impianti elettrici, sistemi trifase)

- Richiami di elettromagnetismo
(campo elettromagnetico, circuiti magnetici non lineari)
- Principio di funzionamento e circuito equivalente del trasformatore
- Principio di funzionamento e circuito equivalente del motore asincrono

La frequenza non è obbligatoria ma altamente raccomandata, così come lo studio sistematico del programma svolto a lezione, l'analisi critica delle esercitazioni svolte in aula e la risoluzione personale di esercizi aggiuntivi (reperibili nei testi consigliati).

Durante il corso sarà disponibile nel sito web il file con le slide che contengono la traccia delle lezioni.

Metodi Didattici

40 ore di lezioni frontali

20 ore di esercitazioni

Le lezioni si svolgono prevalentemente in maniera tradizionale attraverso l'utilizzo della lavagna, con il supporto di slides Power Point successivamente messe a disposizione degli studenti.

Le esercitazioni consistono nello svolgimento da parte del docente e/o degli allievi di esercizi di analisi delle reti elettriche.

Verifica dell'apprendimento

La valutazione del raggiungimento degli obiettivi prefissati avviene mediante lo svolgimento di una prova scritta ed un colloquio orale. Il voto terrà conto anche della qualità dell'esposizione scritta e orale.

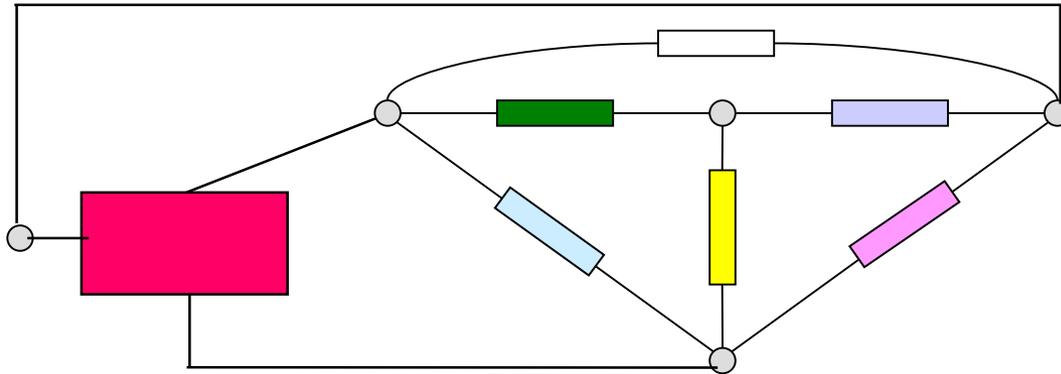
La prova scritta, tesa principalmente a valutare le capacità operative, prevede la risoluzione di uno o più problemi e/o domande a risposta aperta riguardanti l'analisi delle reti elettriche, i trasformatori, i motori asincroni.

La prova orale, a cui può accedere solo chi abbia raggiunto un punteggio di almeno 18/30 nella prova scritta, verifica il grado di conoscenza teorica (componenti elettrici, teoremi per l'analisi delle reti, principi di funzionamento del trasformatore e del motore asincrono, schemi equivalenti) e le capacità espositive dell'allievo.

Il punteggio finale è attribuito mediante una media dei risultati ottenuti nella prova scritta e orale (se entrambi maggiori di 18/30).

Il circuito elettrico

E' un insieme di elementi elettrici interconnessi e collegati ad un generatore



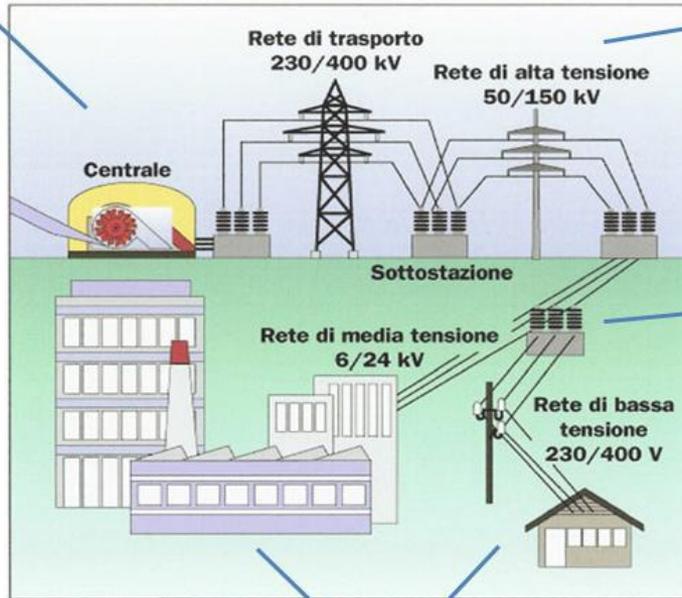
Gli elementi sono accessibili attraverso terminali e morsetti.

Il moto delle cariche può sussistere solo se il circuito è costituito da una catena ininterrotta di corpi conduttori.

La filiera elettrica

1. Generazione

I produttori generano l'energia elettrica e la immettono nella rete di trasmissione nazionale



2. Trasmissione

Terna, gestore della rete di trasmissione nazionale, consegna l'energia elettrica nella rete di distribuzione regionale e locale

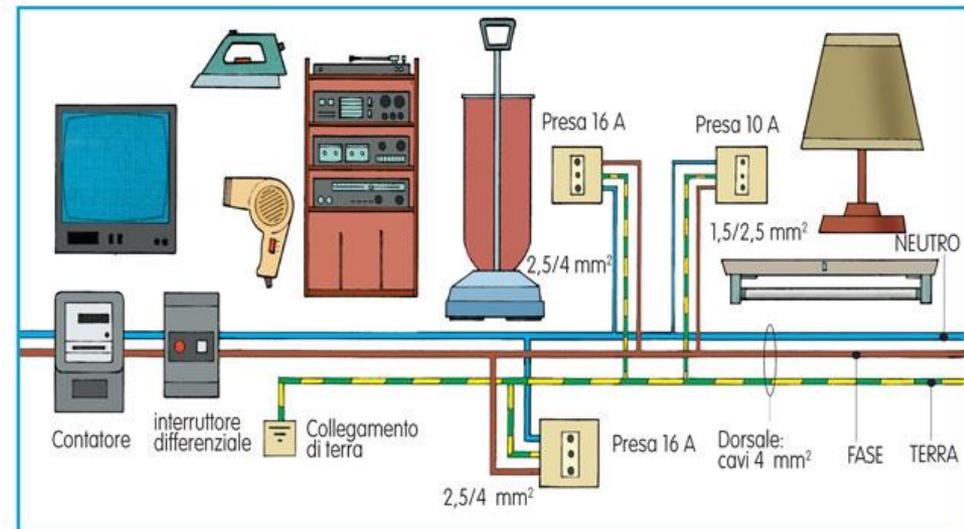
3. Distribuzione

Le società di distribuzione consegnano l'energia elettrica nei punti di consegna (POD) dei clienti finali per conto delle società di Vendita

4. Metering

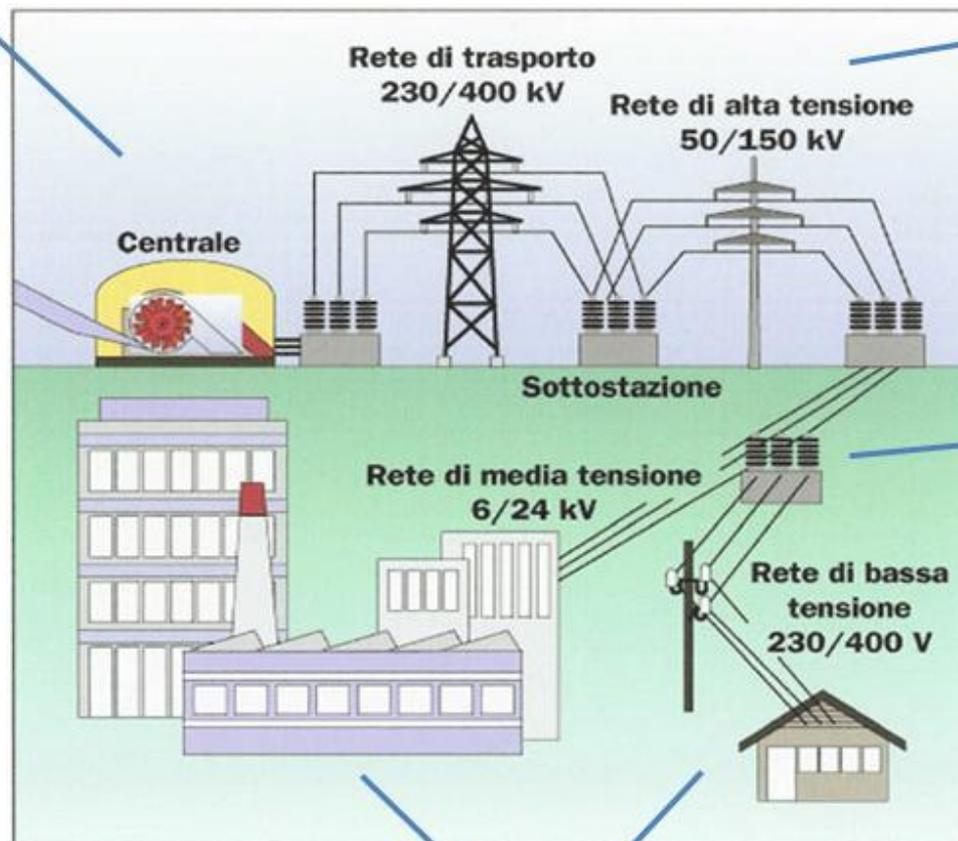
Le società di distribuzione sono responsabili delle attività di rilevazione dei dati di misura

Quando accendiamo una lampadina, ci troviamo nell'ultima fase della filiera elettrica.



1. Generazione

I produttori generano l'energia elettrica e la immettono nella rete di trasmissione nazionale



2. Trasmissione

Terna, gestore della rete di trasmissione nazionale, consegna l'energia elettrica nella rete di distribuzione regionale e locale

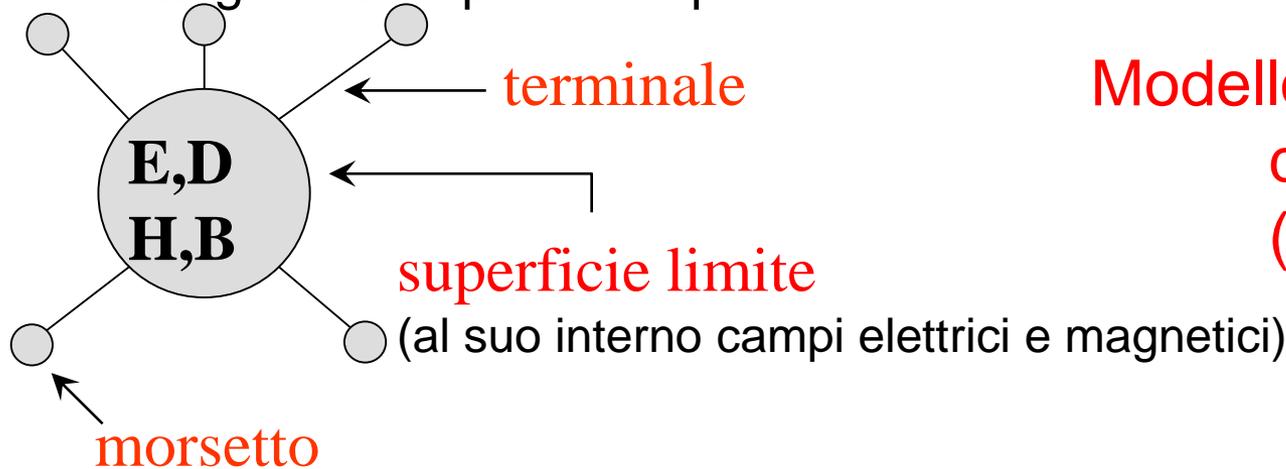
3. Distribuzione

Le società di distribuzione consegnano l'energia elettrica nei punti di consegna (POD) dei clienti finali per conto delle società di Vendita

4. Metering

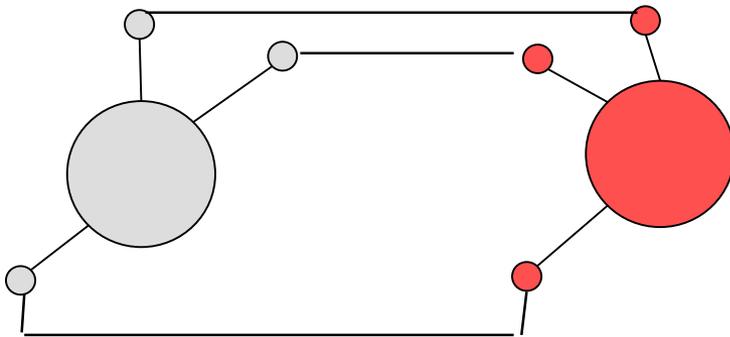
Le società di distribuzione sono responsabili delle attività di rilevazione dei dati di misura

I dispositivi elettromagnetici modellabili con la Teoria dei circuiti sono racchiusi da una **superficie limite** e caratterizzati da morsetti e terminali. Il dispositivo è accessibile attraverso i morsetti; i **terminali** sono i segmenti che collegano il corpo del dispositivo ai **morsetti**.



Modello circuitale di un dispositivo (Multipolo)

Le interazioni con l'esterno avvengono tramite le connessioni di fili ai morsetti (passaggio di corrente nelle connessioni, tensioni tra i morsetti)



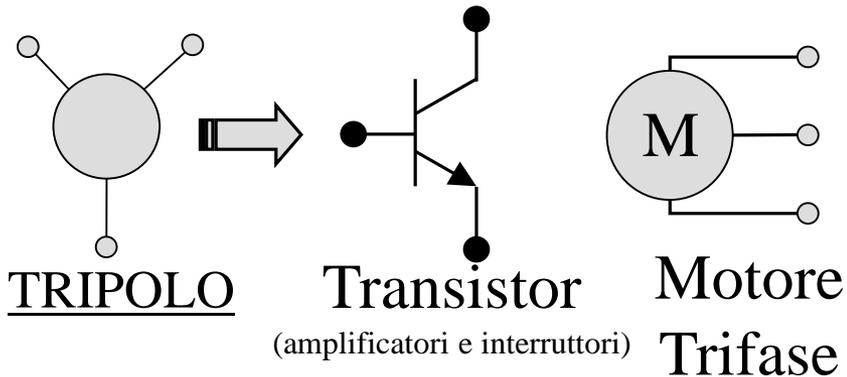
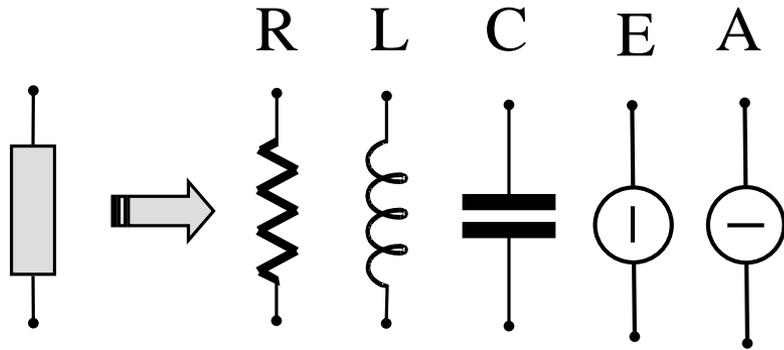
Collegamento di multipoli (Rete elettrica)

L'elettrotecnica studia i dispositivi elettromagnetici con terminali e le loro connessioni privilegiando la Teoria dei circuiti.

A seconda del numero di terminali,
gli elementi vengono chiamati

- bipolo
- tripolo
- quadripolo
- n-polo

BIPOLO



	R	RESISTENZA	
	R	TRIMMER	
	R	POTENZIOMETRO	
	FR	FOTORESISTENZA	
	C	CONDENSATORE CERAMICO o POLIEST.	
	C	COMPENSATORE	
	C	CONDENSATORE ELETTROLITICO	
	DS	DIODO AL SILICIO	
	DZ	DIODO ZENER	
	DV	DIODO VARICAP	
	DL	DIODO LED	
	FD	FOTODIODO TRASMETTENTE	
	TR	TRANSISTOR	
	FT	FET.	

MONOPOLO

Non vengono inclusi fra i componenti nello studio della Teoria dei Circuiti

Durante il funzionamento di un circuito, lo spazio, sia interno che esterno a ciascun componente circuitale e a ciascun conduttore, è sede di campi elettrici e magnetici, di correnti elettriche, nonché di distribuzioni di cariche. La dinamica di queste grandezze è descritta dal modello costituito dalle **equazioni di Maxwell** e dalle **equazioni costitutive dei mezzi materiali** con cui sono realizzati i singoli componenti e i conduttori.

Sebbene una descrizione “esatta” del funzionamento di un circuito richieda, almeno in principio, la soluzione delle equazioni di Maxwell e delle equazioni costitutive (modello completo), per determinare le correnti e le tensioni dei singoli componenti circuitali può essere sufficiente studiare un modello approssimato, notevolmente semplificato e al contempo sufficientemente adeguato. Esso è il

modello circuitale o a parametri concentrati.

Equazioni fondamentali dell'Elettromagnetismo

	Forma locale	Forma integrale
Equazione di continuità	$\nabla \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho_c}{\partial t}$	$\oint_S \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS = -\frac{d}{dt} \int_V \rho_c dV$
Equazioni di Maxwell	$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$	$\oint_\Gamma \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{t}} dl = \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS + \int_S \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS$
	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_\Gamma \mathbf{E} \cdot \hat{\mathbf{t}} dl = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS$
Equazioni di divergenza	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_c$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS = \int_V \rho_c dV$
	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS = 0$

- ρ_c = densità di carica elettrica [C/m³] • \mathbf{E} = campo elettrico [V/m] • \mathbf{H} = campo magnetico [A/m]
 • \mathbf{D} = induzione elettrica (spostamento elettrico) [C/m²] • \mathbf{B} = induzione magnetica [T]
 • \mathbf{J} = densità di corrente elettrica [A/m²]

La Teoria dei circuiti postula le equazioni di funzionamento dei multipoli in modo macroscopico, senza tener conto dei campi elettromagnetici all'interno dei dispositivi.

Quando è lecito?

Il tempo di transito di un fenomeno elettromagnetico per una distanza d è

$$t = d/c;$$

$$(c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

$$\text{Ex: } d = 3 \text{ m} \rightarrow t = 10^{-8} \text{ s} = 10 \text{ ns}$$

Considero un dispositivo di dimensioni d e variazioni periodiche delle grandezze elettriche di periodo T ($\lambda = cT$)

Se $T \gg t$ posso usare la Teoria dei circuiti.

$$T \gg t \quad (\text{bassa frequenza } f = 1/T)$$

$$\Rightarrow \lambda/c \gg d/c \Rightarrow \lambda \gg d \quad (\text{elevata lunghezza d'onda } \lambda)$$

Ipotesi su cui si basa la teoria dei circuiti

Quando la sorgente è di frequenza tanto bassa che le dimensioni della rete conduttrice sono molto più piccole della lunghezza d'onda, (situazione QUASI STATICA) si semplifica il problema **elettromagnetico** in un problema **circuitale**.

→ Dalle equazioni di Maxwell alle leggi di Kirchhoff

LA TEORIA DEI CIRCUITI RIGUARDA I SISTEMI A PARAMETRI CONCENTRATI

L'ipotesi di costanti concentrate può essere espressa in tre modi equivalenti:

- la regione di spazio d'interesse ha dimensioni trascurabili rispetto alla lunghezza d'onda delle grandezze fisiche che lo interessano.
- la velocità di propagazione del fenomeno elettromagnetico è infinita
- il tempo di propagazione del fenomeno elettromagnetico è nullo

Esempi

1) CIRCUITO AUDIO

frequenza più alta: $f \sim 25 \text{ kHz}$

corrispondente $\lambda = c/f = 12 \text{ km}$

λ è di gran lunga superiore alle dimensioni di un circuito del genere →
Valgono le leggi di Kirchoff

2) CIRCUITO DI UN COMPUTER

$f = 500 \text{ MHz}$; $\lambda = c/f = 0,6 \text{ m}$ →

Il modello a parametri concentrati può non essere sufficientemente accurato

3) CIRCUITO A MICROONDE

$f = 3\text{-}300 \text{ GHz}$, $\lambda = 1 \text{ mm} - 10 \text{ cm}$ →

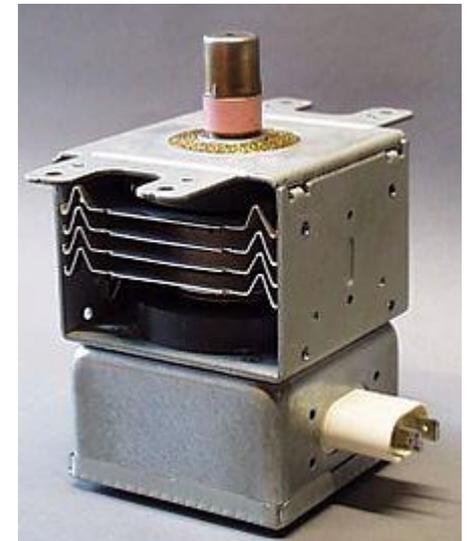
Non valgono le leggi di Kirchoff

4) DISPOSITIVI PER L'ENERGIA

$f = 1/T = 50 \text{ Hz}$, $T = 0.02 \text{ s}$, $\lambda = 6 \cdot 10^6 \text{ m}$.

$d = 3 \text{ m} \rightarrow t = 100 \text{ ns} \ll T$, ($d \ll \lambda$),

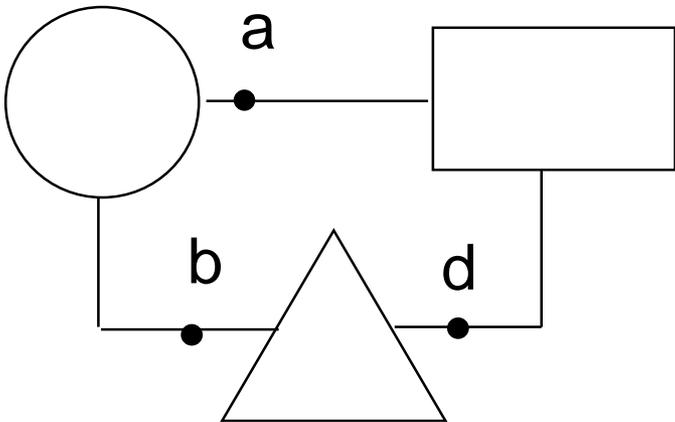
Il dispositivo è modellabile con la Teoria dei circuiti.



Magnetron

Ipotesi di parametri concentrati:

I fili che collegano gli elementi sono conduttori ideali → le variazioni di energia avvengono solo all'interno degli elementi (cioè sono equipotenziali).



- Grandezze fondamentali: Tensioni e Correnti

- Matematica: Sistemi di equazioni lineari, numeri complessi, trigonometria

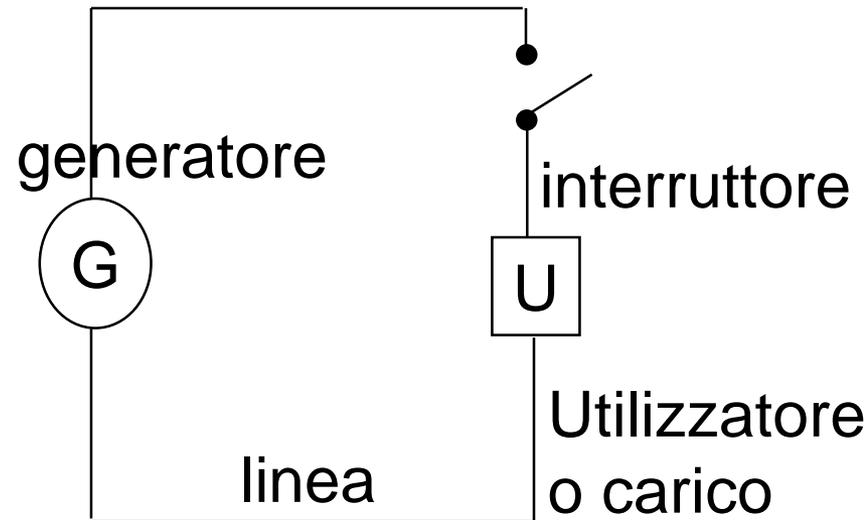
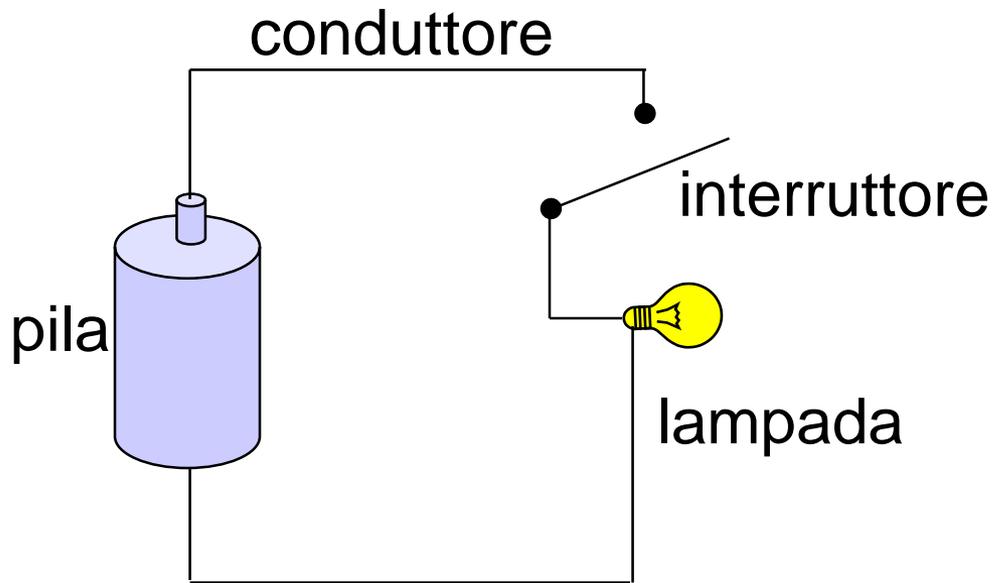
Conseguenza:

Le dimensioni e la posizione degli elementi nello spazio sono ininfluenti.

Conta solo il modo in cui gli elementi sono connessi tra loro (la **topologia**)

Il più semplice circuito elettrico:

- Generatore (ad ex. pila)
- Apparecchio utilizzatore della corrente (ad ex. lampada)
- Conduttori di collegamento (2 fili metallici)



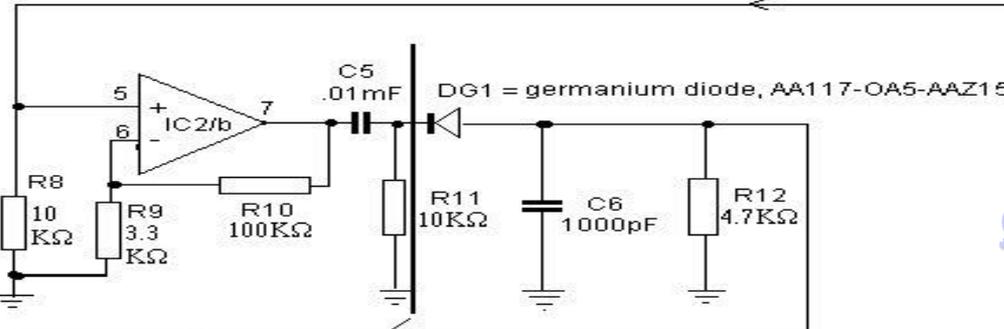
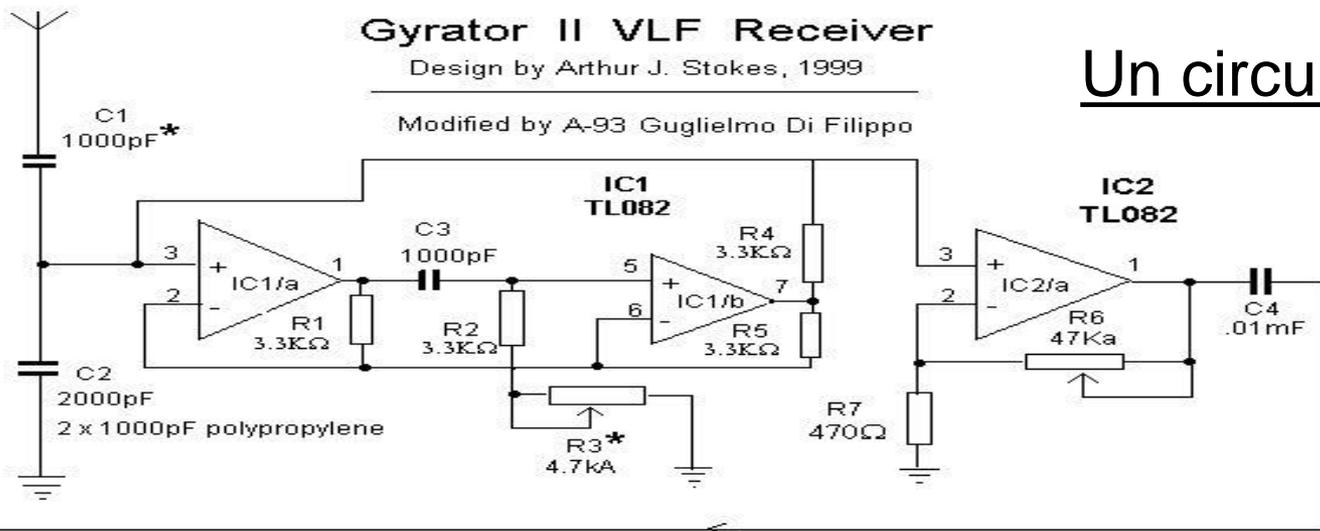
Schema elettrico

Gyrator II VLF Receiver

Design by Arthur J. Stokes, 1999

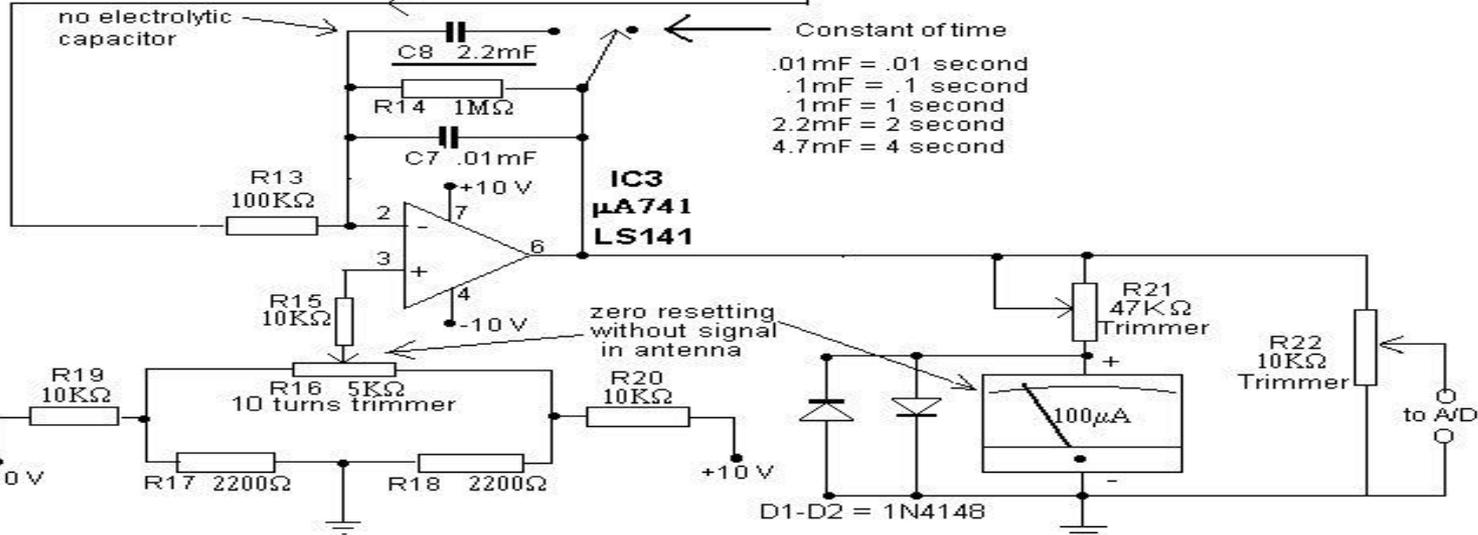
Modified by A-93 Guglielmo Di Filippo

Un circuito più complesso

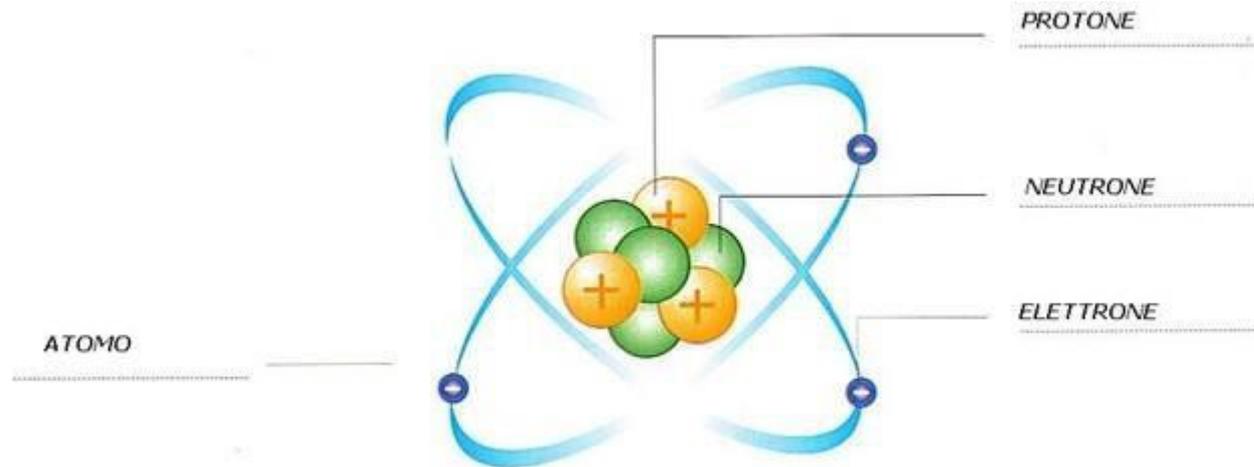


TL082
 PIN 4 -10V
 PIN 8 +10V
 * = Modified

grupposole.astrofili.org/02c.htm



Materia → molecole → atomi (elettricamente neutri)



I protoni sono dotati di carica positiva e gli elettroni di carica negativa.

Ione

- L'atomo che acquista una carica positiva poiché uno o più elettroni si allontanano dal nucleo (ione positivo)
- L'atomo che acquista una carica negativa poiché acquisisce uno o più elettroni (ione negativo)

Qualunque corpo i cui atomi abbiano perduto o acquistato elettroni è carico positivamente o negativamente.

Il corpo ha una carica elettrica pari alla somma algebrica delle cariche elementari (elettroni e ioni) possedute.

La materia in condizioni normali è elettricamente neutra, poiché gli atomi sono neutri.

Se un corpo è carico, ad esempio positivamente, le cariche che ha perduto si trovano in un'altra parte dello spazio.

Principio di conservazione della carica elettrica

Le cariche elettriche non possono essere generate o distrutte ma solo trasferite.

Legge di Coulomb 1777-1785

$$\mathbf{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{d^2} \hat{\mathbf{d}} \quad \hat{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2}{\|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2\|} \quad \text{Forza su } q_1$$

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \quad \text{Costante di Coulomb}$$

ε costante dielettrica del mezzo

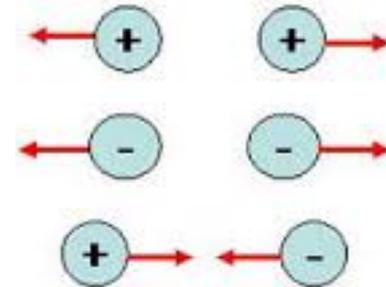
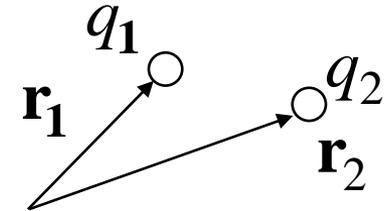
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$\varepsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N m}^2)$ costante dielettrica nel vuoto

ε_r numero puro (>1)

1 Coulomb è la carica che posta nel vuoto ad 1m da una carica uguale, la respinge con una forza di $9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

La carica dell'elettrone è $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \ll 1 \text{ C}$



All'interazione elettromagnetica è associata una forza particolarmente intensa se confrontata con l'interazione gravitazionale: la forza elettrica tra un elettrone e un protone in un atomo d'idrogeno è 10^{39} volte superiore rispetto alla forza gravitazionale tra le due.

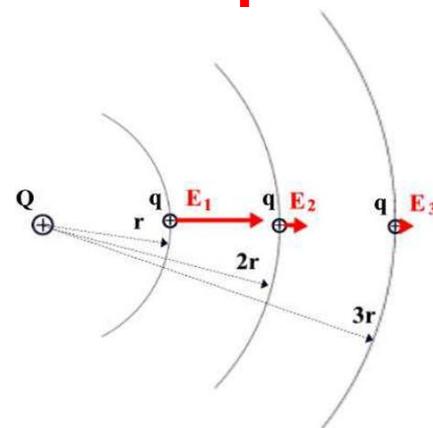
Un corpo carico elettricamente produce nello spazio circostante un campo tale per cui, se si introduce una carica elettrica, questa risente dell'effetto della forza di Coulomb.

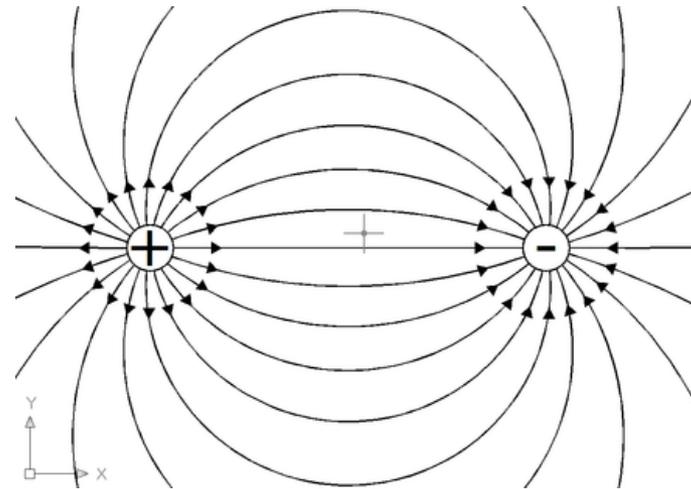
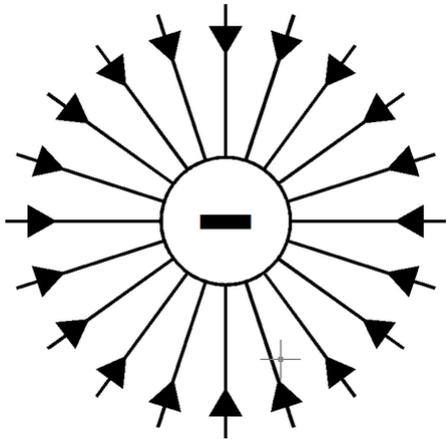
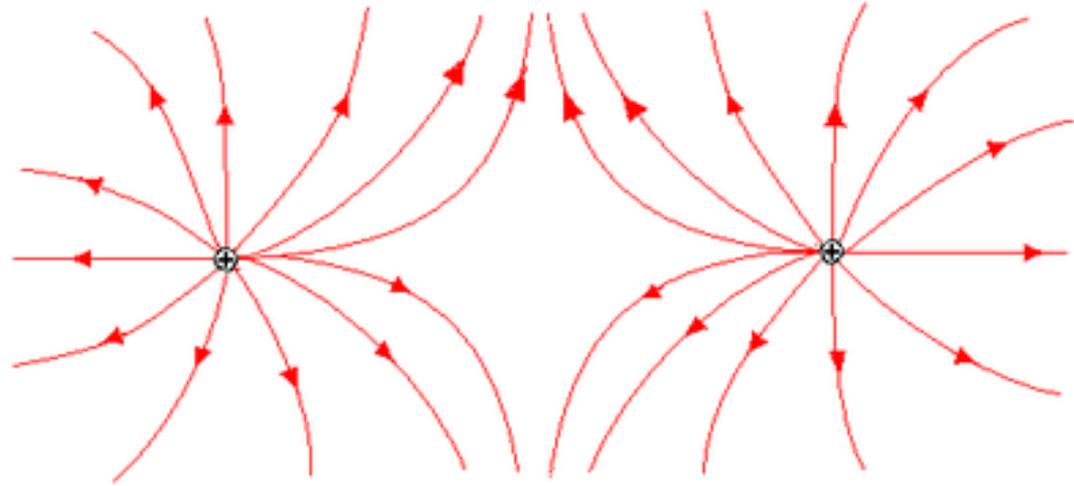
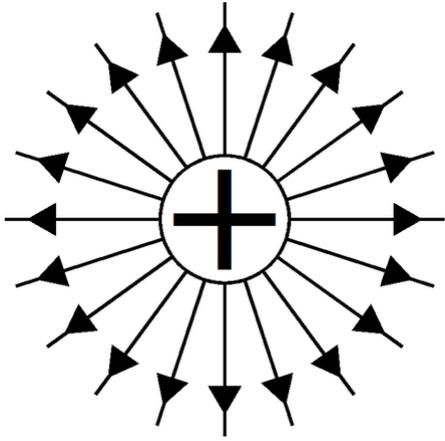
Data una carica di prova q (piccola, non modifica il sistema)

$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$ Campo elettrico: forza agente sull'unità di carica **positiva**

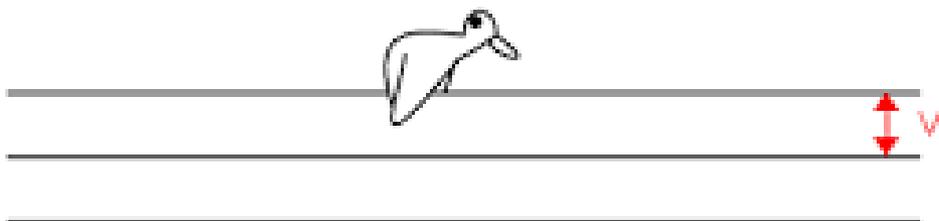
Se il campo è provocato da una carica Q

$$\mathbf{E} = \frac{K \frac{qQ}{d^2}}{q} \hat{\mathbf{d}} = K \frac{Q}{d^2} \hat{\mathbf{d}}$$

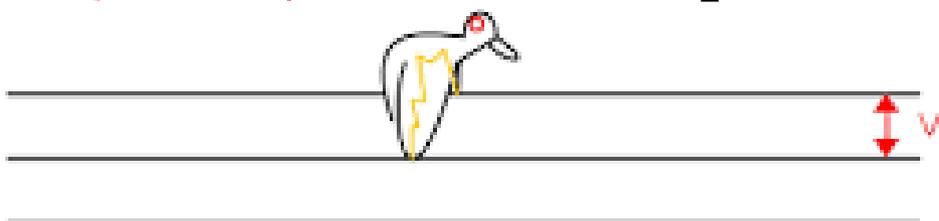




Non sottoposto a d.d.p

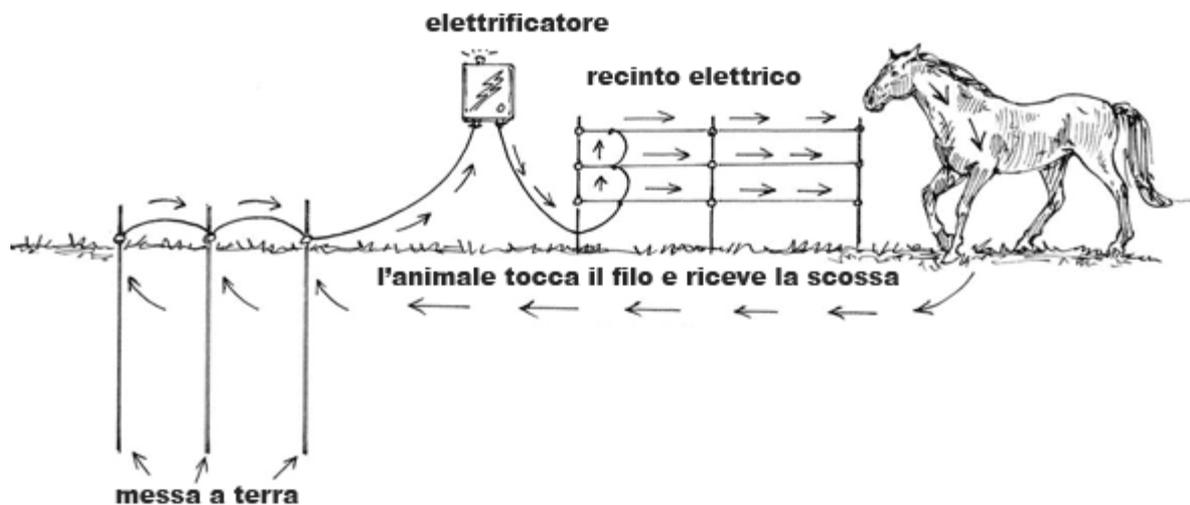


Sottoposto a d.d.p



Chi prende la scossa?

Vai sul sito
www.menti.com



Lavoro elettrico e energia potenziale

In una regione di spazio sede di un campo elettrico,
per spostare una carica da A a B occorre un certo lavoro/energia.

Se una carica si sposta lungo un percorso chiuso, il lavoro totale è nullo
(campo conservativo \rightarrow energia potenziale, di posizione)

Q_+ sorgente del campo elettrico,

Se volessimo avvicinare una carica q^+ alla carica Q_+ occorrerebbe compiere un **lavoro contro** le forze del campo, che in questo caso tenderebbero ad allontanare le cariche. Il lavoro è un **lavoro negativo** (perché "fornito" dall'esterno rispetto al sistema di cariche). La variazione di energia potenziale è positiva.

Se volessimo avvicinare una carica q^- a Q^+ , dovremmo **assecondare** le forze attrattive tra le due cariche e quindi compiere un **lavoro positivo**.

L'**energia potenziale elettrica** w è il lavoro che le forze elettrostatiche devono compiere per portare una carica da un punto qualsiasi del campo elettrico all'infinito (dove l'energia potenziale è nulla).

$$\Delta w = w_\infty - w_A = -w_A \quad \Rightarrow \quad w_A = -\Delta w = L$$

Il potenziale elettrico

Si definisce **potenziale elettrico** in un punto, e si indica con V , il lavoro che occorre compiere per portare una carica **unitaria** da un punto qualsiasi del campo elettrico all'infinito (energia potenziale elettrica dell'unità di carica w/q).

$$V=L/q$$

- L'infinito è un punto infinitamente lontano esterno al campo, ove si assume potenziale nullo.

$$V_A = \frac{L}{q} = -\frac{\Delta w}{q} = -\frac{w_\infty - w_A}{q} = \frac{w_A}{q}$$

- Il potenziale elettrico varia da punto a punto in un campo: a punti diversi dello spazio corrispondono potenziali diversi.

La tensione elettrica

Una carica q ha un' **Energia potenziale** w .

L'energia per unità di carica è detta **Potenziale** $V=w/q$.

L'energia cambia se la carica si sposta. $\Delta w = w_B - w_A$

Il **lavoro** prodotto dalle forze del campo elettrico (energia richiesta) associato al moto della carica unitaria tra i due punti A e B all'interno della regione sede del campo è detto

Tensione elettrica (v_{AB})

$$v_{AB} = \frac{L}{q} = -\frac{\Delta w}{q} = \frac{w_A - w_B}{q} = \frac{w_A}{q} - \frac{w_B}{q} = V_A - V_B$$



Differenza di potenziale elettrico ($V_A - V_B$).

Corrisponde alla differenza tra l'energia potenziale elettrica che ha la carica unitaria in A e in B:

Non dipende da q o dal percorso seguito, ma solo da A e B.

$$v_{AB} = -v_{BA}$$

Unità di misura:
volt (V)

$$1V = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{Nm}{C}$$

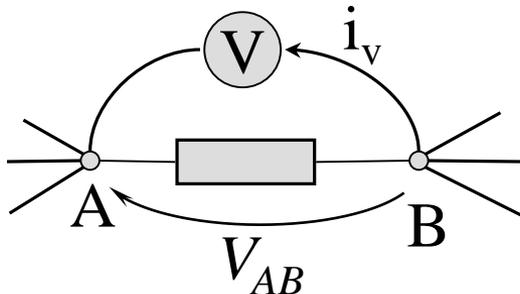
Un volt è la d.d.p. tra 2 punti tali che il lavoro necessario per spostare la carica unitaria da un punto all'altro è pari ad 1 Joule.

La **polarità** (verso di riferimento) della tensione si indica con la **coppia di segni + e -** o **con una freccia**



La scelta del verso di riferimento è arbitraria e normalmente viene fatta a priori. Non è detto che coincida con la polarità effettiva $\rightarrow V_{AB}$ potrebbe essere positivo ma anche negativo (o nullo)

$v_{AB}=5V$ significa che A ha un potenziale maggiore di 5 rispetto a B. La differenza di potenziale elettrico corrisponde alla differenza tra l'energia potenziale elettrica che ha la carica unitaria in A e in B \rightarrow la carica spostandosi da A a B perde 5J per ogni C.



Strumento di misura: voltmetro
 i_v piccolissima \rightarrow ideale $R_v = \infty$

La relazione tra campo elettrico e potenziale

Se il campo elettrico è uniforme (costante in intensità, direzione e verso), si può ricavare la relazione tra campo elettrico e potenziale.

Il lavoro elettrico è dato da:

$$L = Fs = qEs = qv_{AB}$$

$$E = v_{AB}/s$$

Questa formula ci dice che in un campo elettrico uniforme, conoscendo la differenza di potenziale tra due punti, possiamo esprimere l'intensità del campo elettrico. La direzione e il verso del campo saranno diretti dai punti a potenziale più alto ai punti a potenziale più basso.

La distribuzione delle cariche – messa a terra

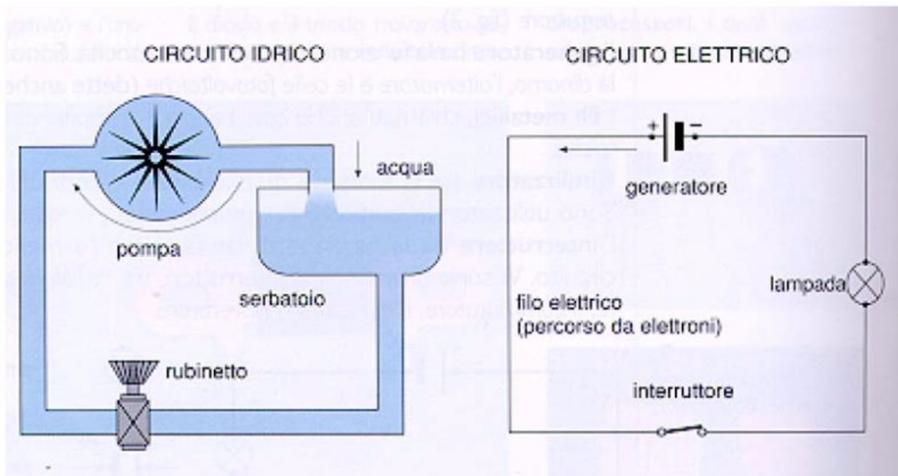
Quando carichiamo un conduttore isolato, le cariche si distribuiscono sulla superficie in modo che dappertutto il campo elettrico sia nullo, (tutti i punti hanno lo stesso potenziale). Quando poniamo in contatto due conduttori – per esempio, due sfere cariche – le cariche sulla superficie si distribuiscono in modo che il sistema dei due conduttori abbia potenziale uniforme (i due conduttori allo stesso potenziale).

Se una delle sfere possiede una carica superiore all'altra, parte della carica presente sulla sfera "più" carica fluisce sull'altra e il flusso di cariche si arresta quando le due sfere sono equipotenziali.

Ora si può chiarire il significato del termine "**messa a terra**". La Terra può essere considerata una grande sfera conduttrice. Essendo la terra dotata di una superficie immensa, rispetto a quelle comparabili con la nostra esperienza quotidiana, la sua capacità di assorbire carica elettrica è infinitamente maggiore di quella dei conduttori che maneggiamo: mettere in contatto un conduttore carico con la Terra ("messa a terra" del conduttore) ha quindi l'effetto di "scaricare" il conduttore, rendendolo elettricamente neutro senza che il potenziale di quest'ultima vari in maniera apprezzabile.

"Mettere a terra" un conduttore significa eliminare le sue cariche in eccesso e portarlo al potenziale della Terra.

L'analogia idraulica



La corrente elettrica, dovuta allo spostamento di elettroni nei conduttori, si muove in modo analogo all'acqua nella tubazione del circuito idrico. I fili conduttori corrispondono ai tubi nei quali scorre il liquido, l'interruttore elettrico funziona in modo analogo ad un rubinetto, al generatore corrisponde la pompa, alla lampada il serbatoio. Una differenza che si può notare tra il circuito elettrico e quello idraulico, è che mentre nel primo l'interruttore deve essere chiuso perché possa passare elettricità, nel secondo il rubinetto deve essere aperto perché possa passare l'acqua.

Affinché i due circuiti possano funzionare e fornire l'acqua o la corrente ai rispettivi utilizzatori è necessario che vi siano dei componenti in grado di fornire energia, ovvero la pompa e il generatore rispettivamente. Se manca la pompa, l'acqua non si muove avendo continuo bisogno di essere rifornita dell'energia che ha perso nel passaggio attraverso i tubi. Inoltre, l'acqua non si consuma, ma passa sempre, fino a che la pompa viene spenta, oppure viene interrotto il flusso di acqua con il rubinetto. Analogamente, la lampadina si accende solo se il circuito è chiuso e, se non ci fosse il generatore non ci sarebbe la corrente e la lampadina si spegnerebbe. Per mantenere accesa la lampadina, è necessario rifornire continuamente l'energia che si perde nel passaggio delle cariche elettriche attraverso i fili, e soprattutto attraverso gli utilizzatori.

La tensione continua

Si ha un *morsetto positivo* (quello a potenziale maggiore) e un *morsetto negativo* (quello a potenziale minore).



Quattro tipi di pile, con tensione di 1,5V; ministilo, stilo, mezza torcia,



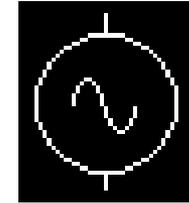
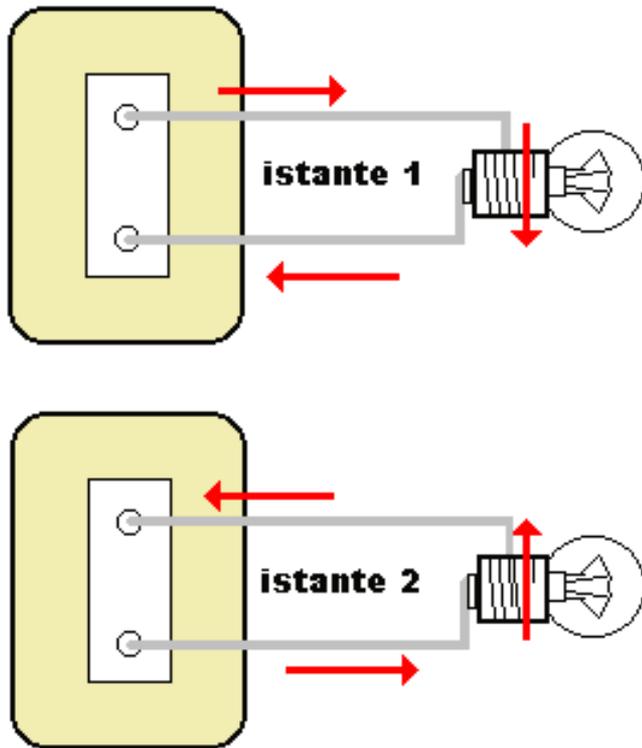
Accumuli di carica



Batteria per auto da 12 V

Forza elettromotrice → generatore non connesso al circuito

La tensione alternata



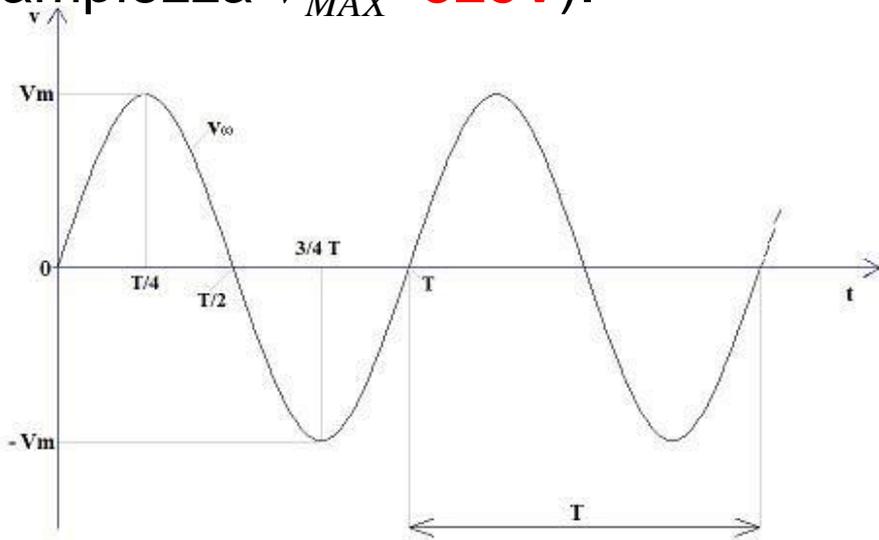
La **tensione alternata**, come quella a 230V presente nelle nostre case, si inverte continuamente, per cui non è possibile contrassegnare i morsetti come positivo e negativo.

LA CORRENTE ALTERNATA

<https://www.focus.it/cultura/storia/nikola-tesla-storia-di-un-genio-truffato>

Supponiamo che per un breve tempo la corrente esca da un foro della presa e rientri nell'altro: subito dopo immaginiamo che esca dal foro in cui prima rientrava, per rientrare in quello da cui prima usciva e così via.

Nelle reti elettriche in Italia, la tensione cambia effettivamente verso ("polarità") 50 volte al secondo. E' una grandezza sinusoidale di frequenza $f=50 \text{ Hz}$ (periodo $T=1/f=0.02 \text{ s}$, pulsazione $\omega=2\pi/T \text{ rad/s}$) e ampiezza $V_{MAX}=325\text{V}$.



Valore efficace

$$v(t) = V_{MAX} \text{sen}(2\pi \cdot f \cdot t) = 325 \text{sen}(2\pi \cdot 50 \cdot t)$$

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt} = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{325}{\sqrt{2}} \cong 230$$

Il valore efficace è legato alla capacità della tensione di sviluppare energia (il valore che dovrebbe avere una tensione continua per produrre lo stesso effetto termico). Per ottenere lo stesso effetto utilizzando una tensione continua occorrerebbe utilizzare una tensione del valore di **230 V.**

Quando si cominciarono a usare le correnti alternate, nella seconda metà dell'Ottocento, si trovò che il modo più semplice per caratterizzare una corrente alternata era quello di basarsi sull'effetto Joule valutando l'effetto di riscaldamento equivalente a quello di una corrente continua di intensità nota, utilizzando un resistore posto in un calorimetro.

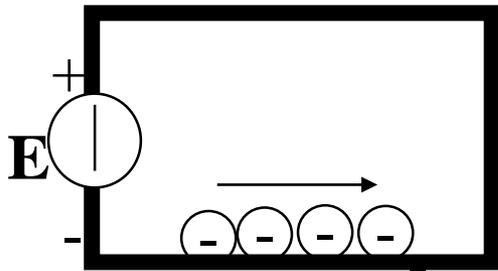
Ordini di grandezza delle differenze di potenziale

Nome	Simbolo	Rapporto con il volt	Campo di utilizzo
microvolt	μV	10^{-6}	Tensioni molto piccole. I segnali presenti in una antenna ricevente TV sono misurabili in questa unità (elettronica per le telecomunicazioni).
millivolt	mV	10^{-3}	Tensioni relativamente piccole presenti soprattutto nel campo dell'Elettronica. Ad esempio i segnali prodotti da un microfono o da un lettore di CD ROM sono di questo ordine.
volt	V	1	Questa è l'unità di riferimento. Le alimentazioni dei dispositivi elettronici variano attualmente da 1-2 V a 10-20 V (elettronica). Tensioni dell'ordine delle centinaia di volt (230-400 V) sono di normale uso negli impianti domestici (elettrotecnica, impianti elettrici e macchine elettriche).
kilovolt	kV	10^3	Tensioni da 20 kV a 400 kV sono utilizzate per trasportare e produrre l'energia elettrica (impianti elettrici di trasmissione e di distribuzione).
megavolt	MV	10^6	Tensioni elevatissime riscontrabili solo nelle scariche atmosferiche ed in esperimenti di laboratorio.

La corrente elettrica

Chiudiamo i capi di una batteria con un filo conduttore, realizzando il più elementare circuito elettrico (percorso chiuso per cariche elettriche).

Il campo elettrico fa spostare le cariche, in versi opposti a seconda del segno delle cariche.



L'arrivo delle cariche negative al polo + altera l'equilibrio elettrico del generatore: su ognuna di esse agisce di nuovo la forza interna che la riporta sul polo - dal quale possono tornare in circolo.

Si instaura così un **flusso continuo di cariche elettriche** → **corrente elettrica**.

Dal momento che la direzione delle cariche dipende dal fatto che esse siano positive o negative, si definisce **il verso della corrente convenzionale come la direzione del flusso di carica positiva**. Tale convenzione si deve a Benjamin Franklin.

Nella maggior parte dei casi si ha a che fare con cariche negative, gli elettroni che scorrono in conduttori solidi, solitamente metallici (ioni positivi ad ex. in soluzioni elettrolitiche).

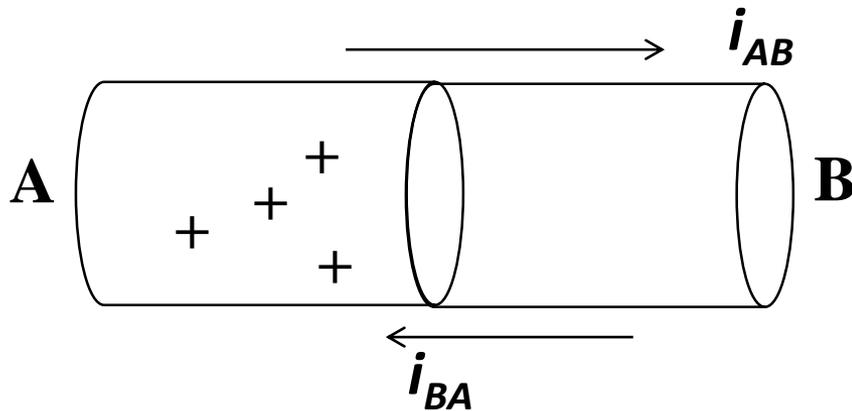
La corrente elettrica è la velocità di variazione nel tempo della carica.
Simbolo: i ; Si misura in ampere (A).

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Quando il moto delle cariche varia nel tempo

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Il verso della normale alla superficie viene rappresentata attraverso una freccia sovrapposta al conduttore: si dice in tal caso che si è scelto un riferimento per la misura della corrente



Il valore della corrente ha senso solo se si è fissato un riferimento

$$i = ? \quad i = i_{AB} ? \quad i = i_{BA} ?$$

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

La corrente convenzionale (positiva) scorre da un accumulo di carica positiva verso un accumulo di carica negativa (altrimenti è considerata negativa)

La corrente è una grandezza scalare: non ha un verso ma ha un segno che dipende dal riferimento adottato.

Ampère: la corrente costante che, se mantenuta in due conduttori rettilinei paralleli di lunghezza infinita e di sezione circolare trascurabile, messi ad 1 metro di distanza, nel vuoto, produce fra i due conduttori una forza pari a $2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$

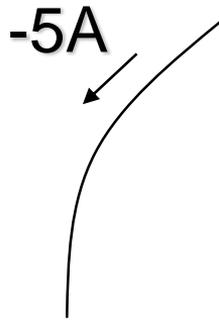
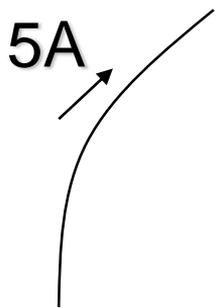
La carica totale trasferita fra l'istante t_0 e l'istante t , si ottiene integrando

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

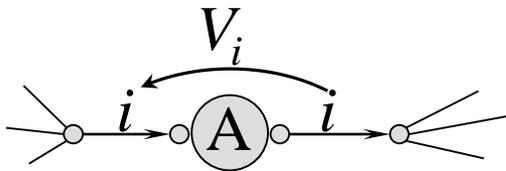
Valore efficace: di una corrente periodica $i(t)$ si definisce valore efficace l'espressione

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} i^2(t) dt}$$

Segno della corrente



Strumento di misura: amperometro



V_i piccolissima \rightarrow ideale $R_i = 0$

Ordini di grandezza delle correnti

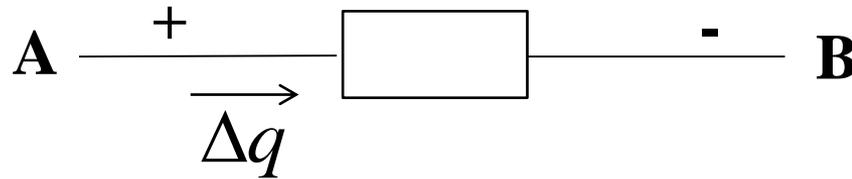
Nome	Simbolo	Rapporto con l'ampere	Campo di utilizzo
nanoampere	nA	10^{-9}	Correnti molto deboli e difficili da misurare, ma presenti in molti dispositivi elettronici. La corrente assorbita dall'ingresso di un moderno circuito integrato è di questo ordine (Elettronica e Telecomunicazioni).
microampere	μ A	10^{-6}	Correnti relativamente piccole, ma significative in Elettronica e nelle Telecomunicazioni. La corrente assorbita da una moderna porta logica è di quest'ordine, come anche la corrente associata ad un segnale rilevato da un antenna televisiva.
milliampere	mA	10^{-3}	Correnti ancora piccole, ma significative in Elettronica. La corrente assorbita da un Led che si illumina, ad esempio, è di circa 10 mA. Di quest'ordine è l'assorbimento di un moderno apparecchio radio portatile.
ampere	A	1	Questa è l'unità di riferimento. È una corrente abbastanza elevata. Una corrente da 16 A è la massima erogata in un impianto domestico (contratto da 3 kW). Correnti di centinaia di ampere sono molto elevate e vengono assorbite da macchine di elevata potenza o da impianti industriali (Elettrotecnica, ma anche Elettronica di potenza e Impianti di trasmissione).
kiloampere	kA	10^3	Queste sono correnti elevatissime assorbite da macchine di grandissima potenza come i motori dei laminatoi, cioè di quei sistemi che comprimono i lingotti di ferro incandescente per produrre le lamiere (Impianti elettrici e Macchine Elettriche).
megaampere	MA	10^6	Sono correnti difficili da produrre e inesistenti in campo industriale. Sono riscontrabili solo nei tubi di plasma prodotti dalle scariche atmosferiche (fulmini).

Per descrivere il moto delle cariche si utilizza una grandezza chiamata corrente elettrica.

Per descrivere il lavoro fatto per trasportare le cariche da una posizione ad un'altra si utilizza una grandezza chiamata tensione elettrica.

Potenza ed Energia

Un bipolo, ai cui capi ho la tensione v , è attraversato dalla carica Δq in un tempo Δt . Se $v > 0$, in Δt la carica perde energia.



$$v = V_A - V_B$$

$$\Delta w = w_B - w_A = V_B \Delta q - V_A \Delta q = (V_B - V_A) \Delta q = -v \Delta q$$

La potenza è la variazione di energia (perduta dalla carica) nella unità di tempo.

$$p = \frac{\Delta w}{\Delta t}$$

o al limite

$$p = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{dw}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-v \Delta q}{\Delta t} = -v \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = -vi$$

$$p = -vi$$

Potenza [W]
perduta dalla carica

Unità di misura

w Energia [J] joule

p Potenza [W] watt

t tempo [s] secondi

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

Cavallovapore (HP)

$$1 \text{ HP} = 745.7 \text{ W}^{45}$$

**Per il principio di conservazione dell'energia,
l'energia perduta da q è assorbita dal bipolo
che la trasforma in un'altra forma di energia**

Motore



Energia elettrica → Energia meccanica

Stufa,
ferro da stiro



Energia elettrica → Energia termica

Lampada



Energia elettrica → Energia luminosa

$$p = vi$$

Potenza assorbita dal bipolo

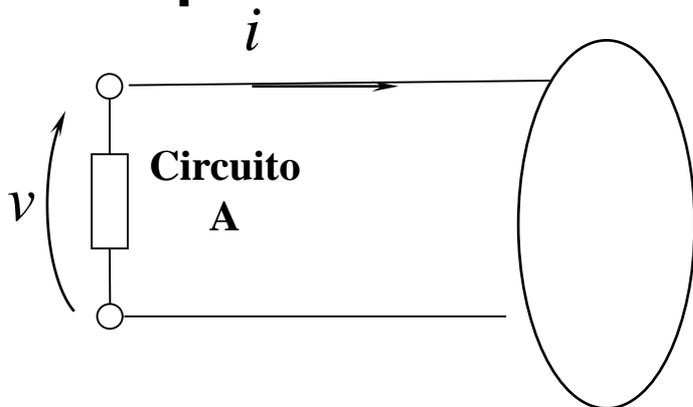
Il segno della potenza

La potenza è dotata di segno $p > 0$?
 $p < 0$?

Da cosa è determinato il segno della potenza?

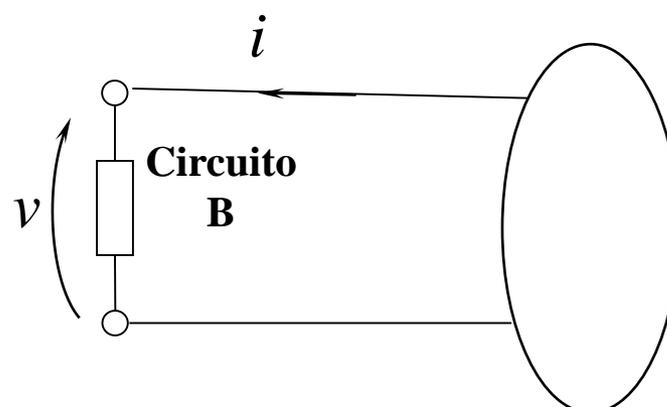
Dalla direzione di riferimento della corrente e dalla polarità della tensione.

Si definisce **convenzione** l'associazione delle orientazioni assunte per la tensione e per la corrente



A compie lavoro per spostare la carica da punti a potenziale più basso a punti a potenziale più alto

$vi =$ potenza generata

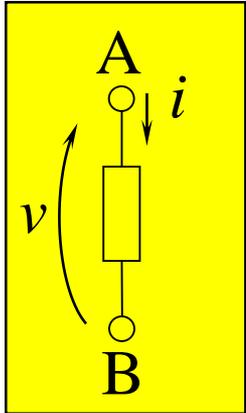


B dissipa energia perché la carica è spostata da punti a potenziale più alto a punti a potenziale più basso

$vi =$ potenza assorbita

Potenza ed Energia - Convenzione degli utilizzatori

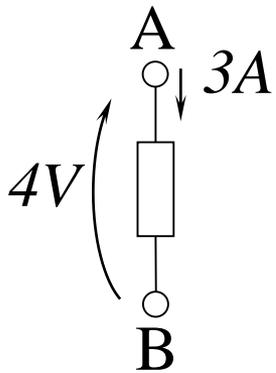
Bipoli



$$p = vi$$

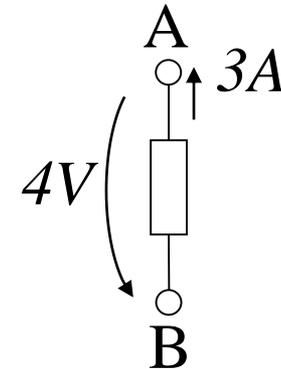
potenza assorbita

(da un dispositivo che la preleva da una sorgente)



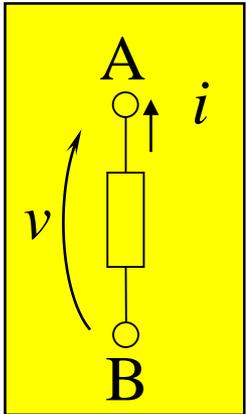
$$p = 12 \text{ W} > 0 \text{ potenza assorbita}$$

$$p' = -12 \text{ W} < 0 \text{ potenza erogata}$$



Potenza assorbita = - Potenza erogata

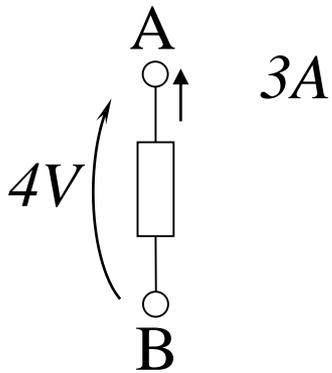
Potenza ed Energia - Convenzione dei generatori



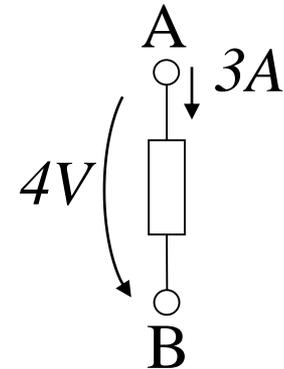
$$p = vi$$

potenza erogata

(da un dispositivo che produce energia)



$$p = 12 \text{ W} > 0 \text{ potenza erogata}$$
$$p' = -12 \text{ W} < 0 \text{ potenza assorbita}$$



Potenza assorbita = - Potenza erogata

Se la potenza è costante $\Delta w = p\Delta t$

L'energia si misura in joule [J] (o wattora [Wh]).

Per addebitare il costo dell'energia si usa il kWh: 1 kWh è l'energia assorbita in un'ora assumendo la potenza costante pari a 1W.

$$1kWh = 1000 J/s \cdot 3600s = 3,6 MJ$$

In genere corrente e tensione dipendono dal tempo

$$p(t) = v(t)i(t) \text{ Potenza istantanea}$$

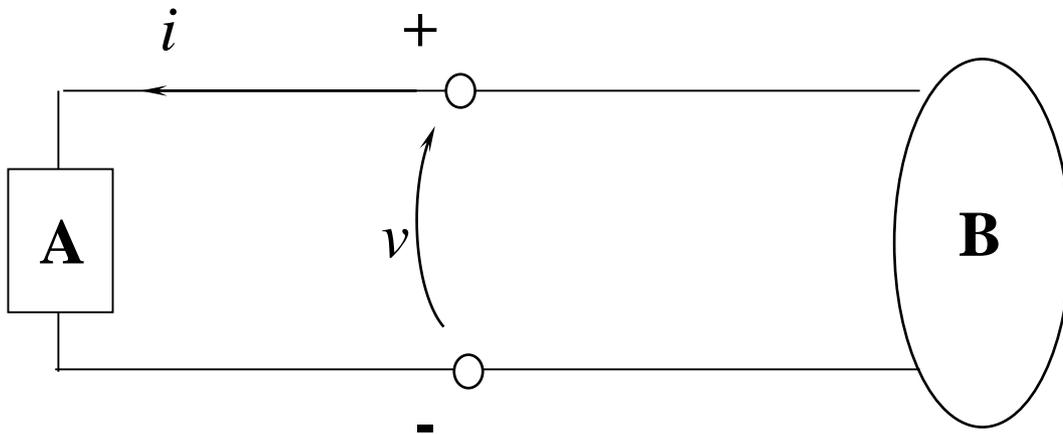
L'energia assorbita nell'intervallo di tempo $[t_0 t]$

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

Guarda il video:

<https://www.youtube.com/watch?v=JBKlu0cXdpQ>

Conservazione della potenza



Le potenze assorbite

$$p_A = vi$$

$$p_B = -vi$$

$$p_B = -p_A$$

Se $p_A > 0$, A assorbe potenza e B eroga la stessa potenza.

$$p_A + p_B = 0$$

La somma algebrica delle potenze assorbite da tutti gli elementi di un circuito è nulla in ogni istante.

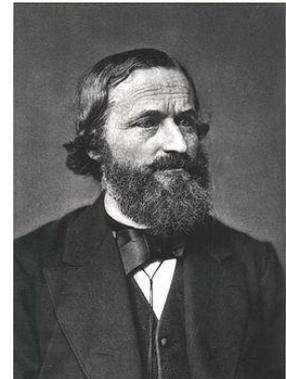
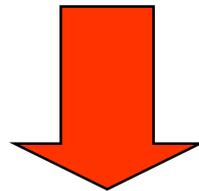
$$\sum_{k=1}^N p_k = 0$$

Ogni elemento è descritto da una relazione matematica, detta **relazione costitutiva**, in cui compaiono le sue **variabili descrittive**, ovvero

- **tensione tra i terminali**
- **correnti che scorrono nei terminali**

Analisi di un circuito

Determinare le variabili descrittive assegnata la topologia e le relazioni costitutive degli elementi



Si basa su due postulati fondamentali che prendono il nome dal fisico tedesco **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887)

Elementi di topologia

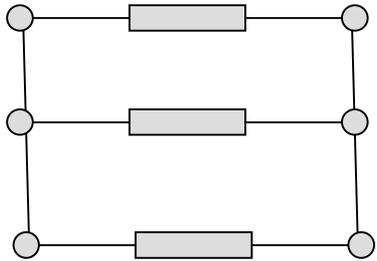
Una rete elettrica è costituita da un insieme di **rami** variamente connessi attraverso i loro morsetti.

Un **nodo** è un punto al quale sono connessi due o più rami.

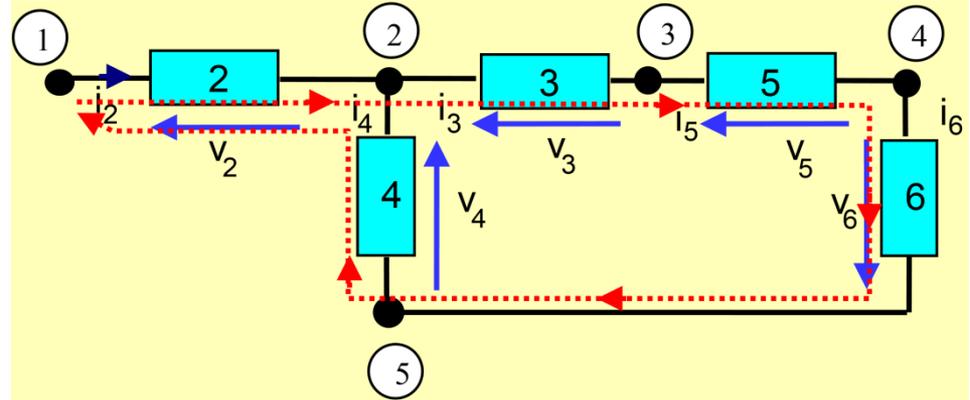
Una **percorso chiuso** è una sequenza di nodi che inizia e termina nello stesso nodo e in cui ogni nodo, tranne il primo, si incontra una sola volta.

Non è necessario che tra due nodi successivi di un percorso chiuso ci sia un componente effettivo.

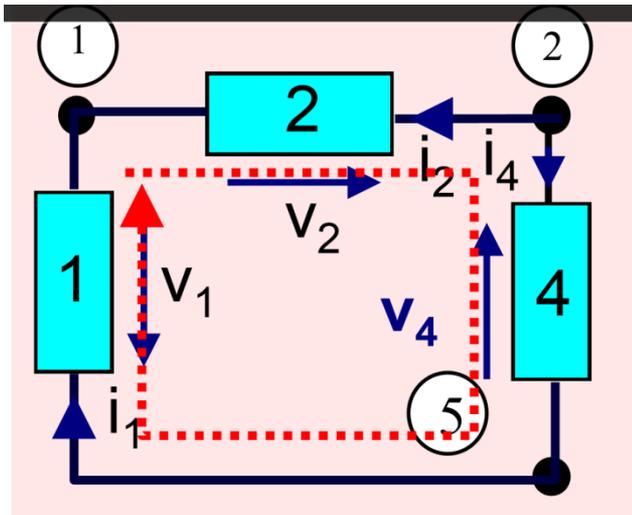
Una **maglia** è un percorso chiuso, che si svolge sui rami del circuito, avente inizio e termine nello stesso nodo ed in cui due e solo due lati “incidono” in ciascun nodo.



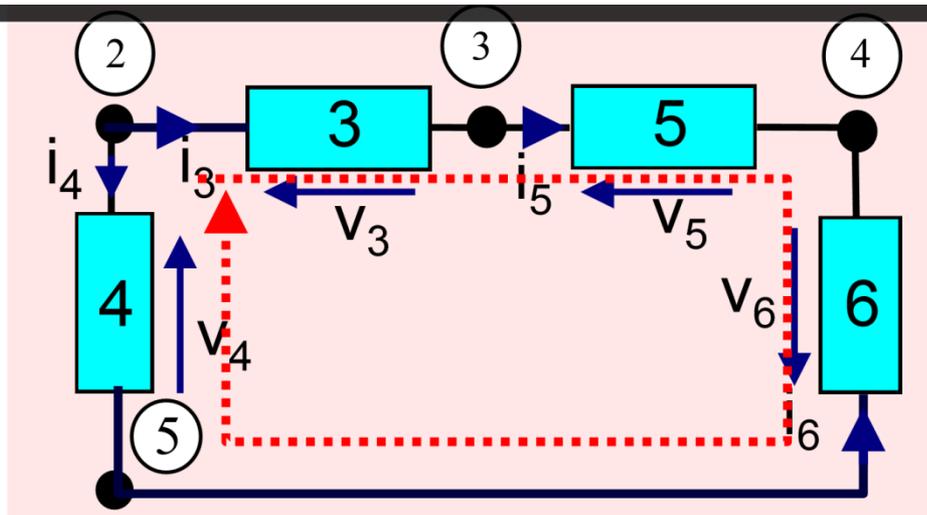
Nodi apparenti



Percorso chiuso che non costituisce una maglia

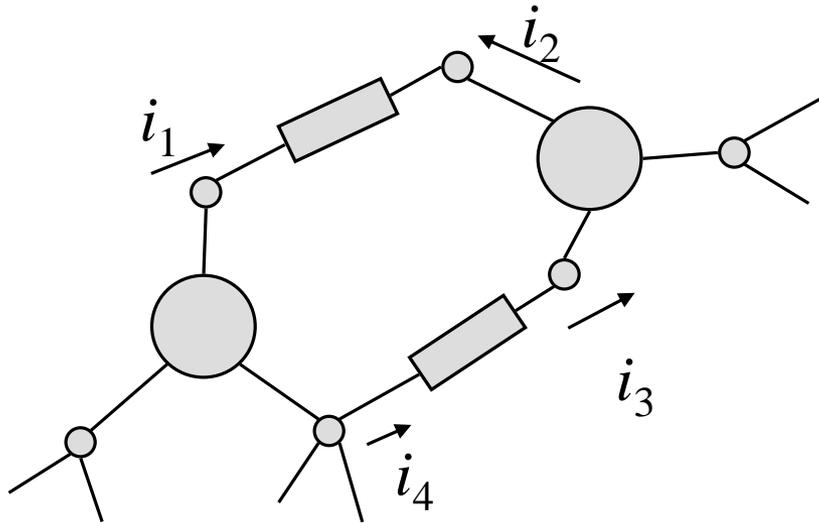


maglia



maglia

I Legge di Kirchhoff (legge di Kirchhoff delle correnti, LKC)



$$\Sigma i = 0$$

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\sum_r a_r \cdot i_r = 0 \quad a_r = \pm 1$$

In ogni nodo la somma algebrica delle correnti è zero.

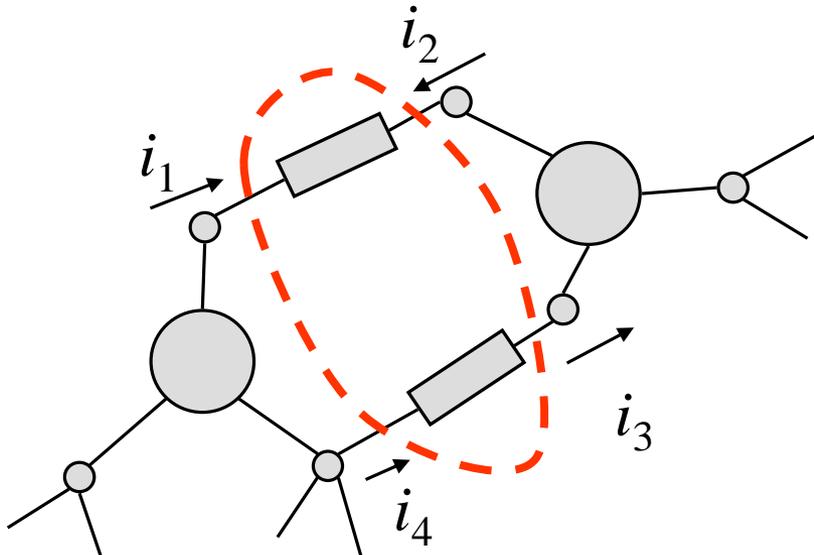
- La somma è algebrica
- I versi delle correnti, sono versi di riferimento, scelti arbitrariamente. I versi effettivi delle correnti saranno noti solo dopo averne calcolato i valori numerici.
- Fissato ad arbitrio il riferimento per la corrente su ogni bipolo, si considerano, ad esempio, con il segno + le correnti entranti nel (uscenti dal) nodo e con il segno – quelle uscenti (entranti).

$$d) \quad i = \frac{dq}{dt} \quad \sum i = 0 \Rightarrow \sum \frac{dq}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} \sum q = 0 \Rightarrow \boxed{\sum q = \text{cost}}$$

E' una conseguenza del PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELLA CARICA. Infatti non ci può essere accumulo/scomparsa di carica.

56

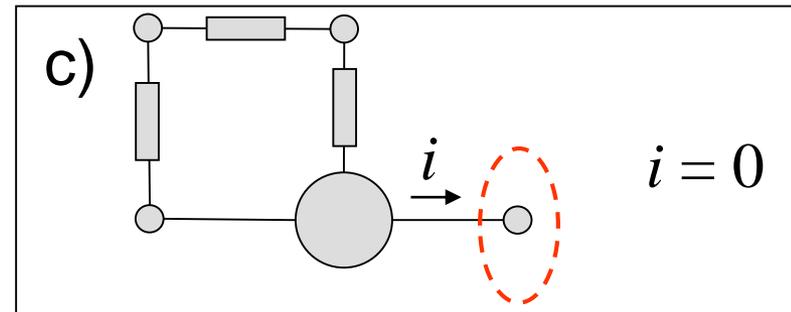
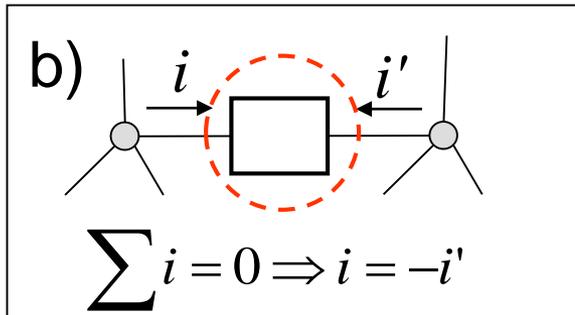
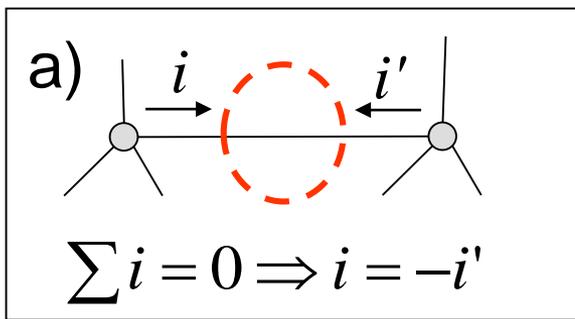
La somma algebrica delle correnti che attraversano una superficie chiusa è zero.



$$\Sigma i = 0$$

$$\boxed{i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0}$$

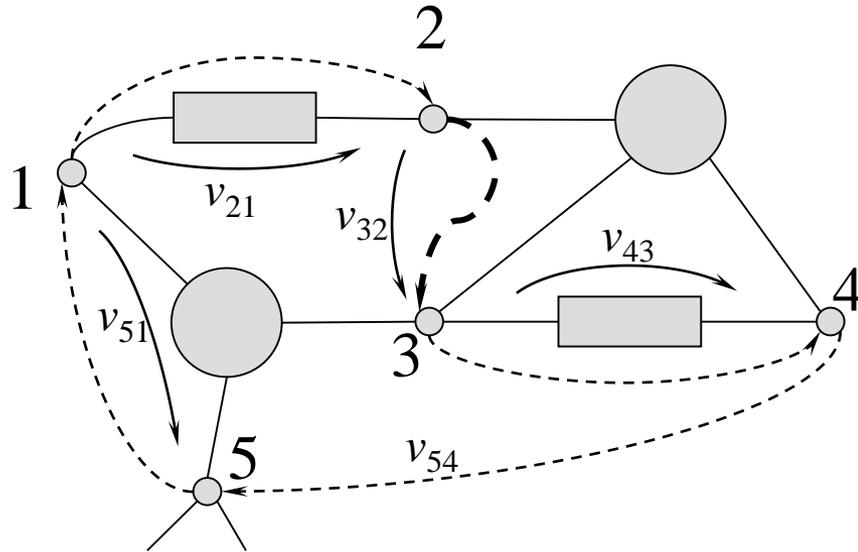
$$\sum_r a_r \cdot i_r = 0 \quad a_r = \pm 1$$



Nodi e pseudonodi

Nei nodi nei quali convergono due soli lati la LKC è banalmente verificata: si considerano solo i nodi nei quali convergono più di due rami.

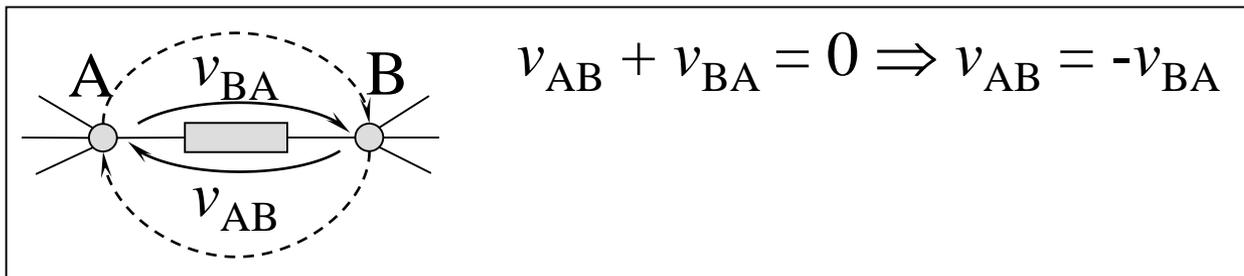
Il Legge di Kirchhoff (legge di Kirchhoff delle tensioni, LKT)



$$v_{21} + v_{32} + v_{43} + v_{54} + v_{15} = 0$$

$$\sum_r a_r \cdot v_r = 0 \quad a_r = \pm 1$$

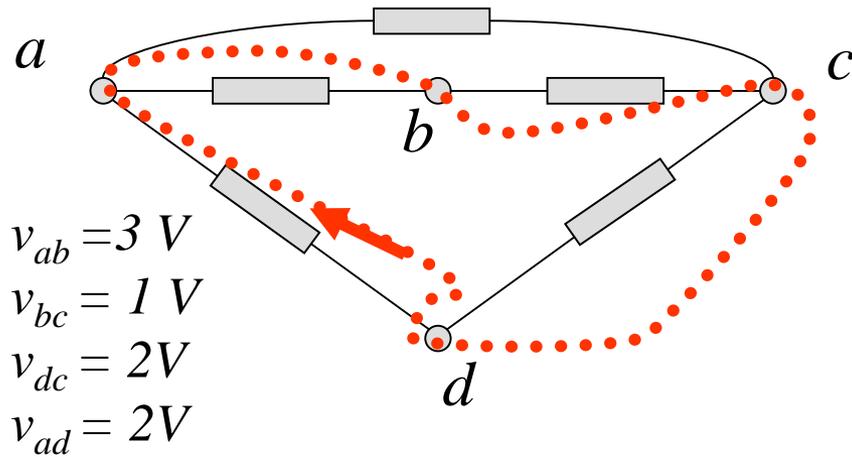
La somma algebrica delle tensioni lungo un percorso chiuso (o lungo una maglia) è nulla



Allora, per esempio: $v_{21} - v_{23} + v_{43} - v_{45} + v_{15} = 0$

E' una conseguenza del PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA (conservatività del campo elettrico).

La carica $q = 1\text{ C}$ percorre la maglia $abcda$



LKT

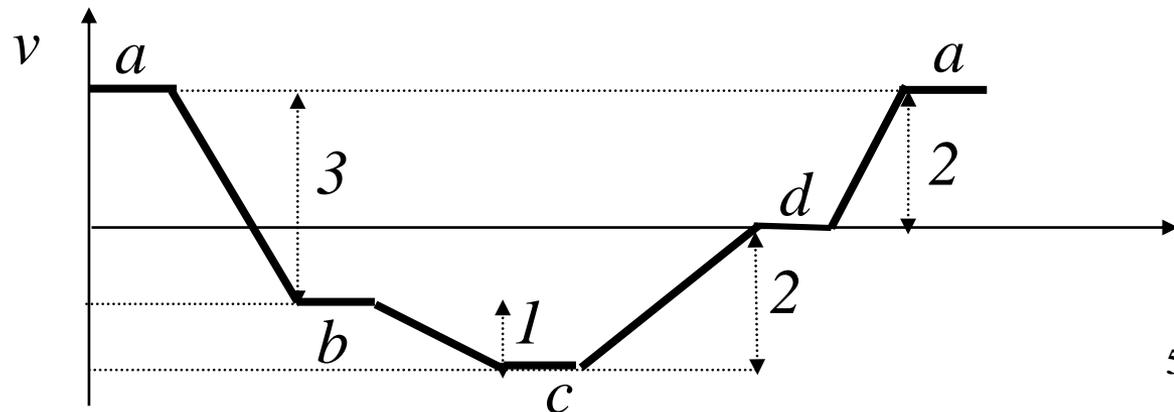
$$v_{ba} + v_{cb} + v_{dc} + v_{ad} = 0$$

$$-3 - 1 + 2 + 2 = 0$$

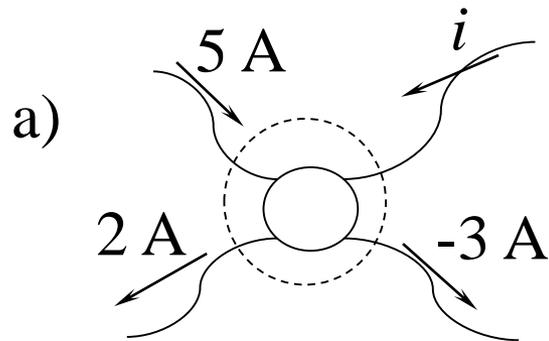
Le tensioni rappresentano le variazioni di energia che la carica subisce durante il percorso.

q torna al punto di partenza

$$W_{iniziale} = W_{finale}$$



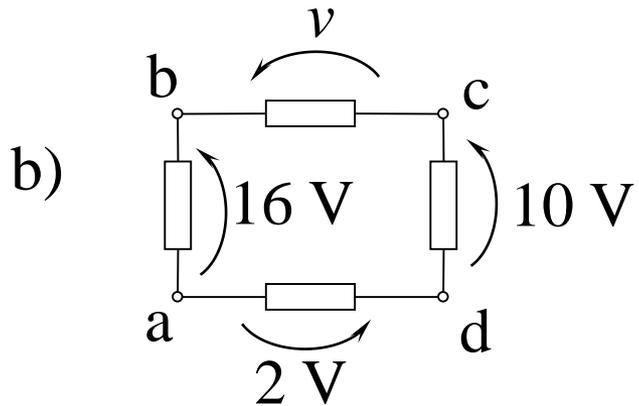
ESEMPI:



trovare i

$$5 + i - (-3) - 2 = 0$$

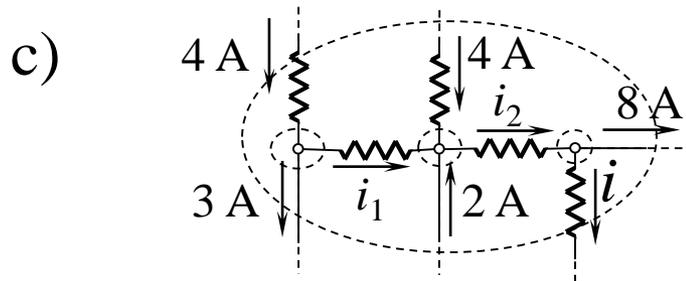
$$i = -6 \text{ A}$$



trovare v

$$v - 16 + 2 + 10 = 0$$

$$v = 4 \text{ V}$$



trovare i

$$4 - 3 - i_1 = 0 \Rightarrow i_1 = 1 \text{ A}$$

$$1 + 4 + 2 - i_2 = 0 \Rightarrow i_2 = 7 \text{ A}$$

$$7 - 8 - i = 0 \Rightarrow i = -1 \text{ A}$$

$$4 + 4 - 8 - i + 2 - 3 = 0 \Rightarrow i = -1 \text{ A}^0$$