
Panzeri Davide

Elettrotecnica 1 - In revisione

Cnos-Fap Sesto San Giovanni

Prefazione

Immersi in un mondo elettrico
- Milano dall'alto -

Quando si sente pronunciare un nuovo termine come può essere “Elettrotecnica” o lo si vede scritto sulle pagine di un libro si ha la necessità di conoscerne il significato per capire di cosa si sta parlando, ovviamente la definizione data da un vocabolario fornisce la migliore soluzione al problema; tuttavia nel cercare di comprenderne il significato si può iniziare a ragionare sulle parole che compongono il termine e da questo dare una propria interpretazione del significato.

La prima parte del termine **elettro-** fa immediatamente pensare all’elettricità, mentre la seconda parte **-tecnica** è strettamente legata allo studio e al lavoro umano. La conferma di questa interpretazione la si trova nella definizione data da un vocabolario, riportiamo di seguito alcune definizioni trovate su differenti siti:

dizionari.repubblica.it *Branca della tecnica che si occupa dello studio e delle applicazioni pratiche, spec. industriali, dell'energia elettrica*

dall'enciclopedia italiana (1932) *Si dà il nome di elettrotecnica all'arte di dominare e guidare i fenomeni elettrici e di utilizzarli a beneficio dell'industria e della civiltà umana*

dizionari.corrieri.it *Tecnica dell'applicazione pratica e industriale dei fenomeni elettrici*

Di fatto l’oggetto di studio dell’elettrotecnica sono tutti quei fenomeni interessati dall’elettricità; più precisamente cerca individuare le leggi naturali per spiegare i fenomeni elettrici e sviluppare le tecniche di analisi necessarie per il loro approfondimento.

Ora il passo successivo è spiegare cosa si intende per fenomeni elettrici, non è facile ma è possibile avere una idea e aggirare il problema della definizione ricercando nella memoria esperienze pratiche che permettono di introdurre e caratterizzare questi fenomeni. Tra le esperienze comuni a tutte le persone si ha la vista di un fulmine e, forse più raro, l’esperienza diretta di una scossa quando nelle giornate ventose ci capita di avvicinare la mano alla portiera di un’auto; in questi casi affermiamo senza pensarci troppo che si tratta di fenomeni elettrici dove si sviluppa elettricità.

Nell’universo sono presenti forze fondamentali che sono strettamente legate alla natura stessa della materia, l’elettromagnetismo è una di queste forze insieme alla forza gravitazionale o nucleare e l’elettricità è una com-

ponente (strettamente correlata) dell'elettromagnetismo. Affermare che si tratta di forze fondamentali significa che in maniera naturale le particelle che costituiscono la materia (non tutte in realtà) sono in grado di attrarsi o respingersi semplicemente perché sono "fatte così", perché queste sono le loro caratteristiche.



A una di queste forze è stato dato il nome di forza elettrica e le particelle che sono in grado di svilupparla, cioè che si attraggono e respingono come spiegato dalla forza elettrica, prendono il nome di cariche elettriche. Prima di proseguire è importante evidenziare che queste forze fondamentali in alcune situazioni si manifestano chiaramente, altre volte rimangono nascoste ma sono sempre presenti. Così vale per l'elettricità, in particolare è fondamentale comprendere che tutti gli atomi/molecole (studiare la chimica è importante) sono interessati da fenomeni elettrici anche se non li manifestano in maniera evidente.

Il primo scopo dell'elettrotecnica è quindi capire di che tipo di forza si tratta, quali sono le leggi che la regolano

e in che modo queste forze possono essere usate in un ambiente industriale.

Grazie all'elettrotecnica, alla tecnologia e allo sviluppo industriale si è riusciti a produrre una serie di oggetti, macchine o apparecchiature che funzionano sfruttando questa forza naturale, attenzione però non si sta dicendo che sfruttano l'energia elettrica ma solo i fenomeni elettrici, l'energia primaria potrebbe essere ad esempio quella chimica (pile), questo non toglie nulla al ruolo che l'elettricità ricopre all'interno delle nostre vite quotidiane: siamo immersi in un infinità di apparecchiature elettriche. In un mondo industrializzato, nell'era della comunicazione non avere chiari in mente alcuni concetti elettrici sembra veramente assurdo, quasi stupido, chiunque dovrebbe avere delle conoscenze tali che gli permettano di utilizzare correttamente apparecchiature elettriche.

Tutti, dalla casalinga all'impiegato, dal ragazzo all'anziano, dovrebbero avere un'infarinatura (almeno superficiale) sui concetti elettrici di base in quando a differenza di ciò che succedeva 50 anni fa si è quotidianamente in contatto con apparecchiature elettriche, basti pensare a cosa succederebbe se dovesse mancare l'energia elettri-

ca nelle nostre case. Sapere come usare i dispositivi elettrici, quali i pericoli nell'uso della corrente elettrica o semplicemente come comportarsi per avere un risparmio energetico è alla portata di tutti e fa parte di quel bagaglio culturale che in quest'epoca dovrebbe appartenere a chiunque.

Nel mondo dell'industria le cose cambiano in quanto l'utilizzo delle attrezzature elettriche diventa sistematico e non più occasionale, la conoscenza deve essere maggiore e specifica del settore di lavoro. L'**operatore meccanico** ad esempio lavora con macchinari mossi dall'elettricità e gli è sufficiente conoscere il meccanismo del funzionamento delle macchine per comprendere i proble-



mi e possibilità di un processo lavorativo. Diversamente l'**operatore su veicoli a motore** o l'**operatore termo-idraulico** devono avere una conoscenza maggiore in quanto non si limitano a usare macchine elettriche ma integrano il proprio impianto auto-moto o idrico con



componenti elettrici, in altre parole questi componenti partecipano al funzionamento dell'impianto. Infine l'**operatore elettrico** si dedica espressamente a questo settore, diventa l'esperto consultato da altri lavoratori, più approfondisce la conoscenza è più è in grado di trovare soluzioni ai problemi che emergono.

Lo scopo di questi appunti è quello di introdurre il lettore allo studio dei fenomeni elettrici in modo che possa poi usare queste conoscenze nel mondo del lavoro in maniera più completa e integrata possibile.

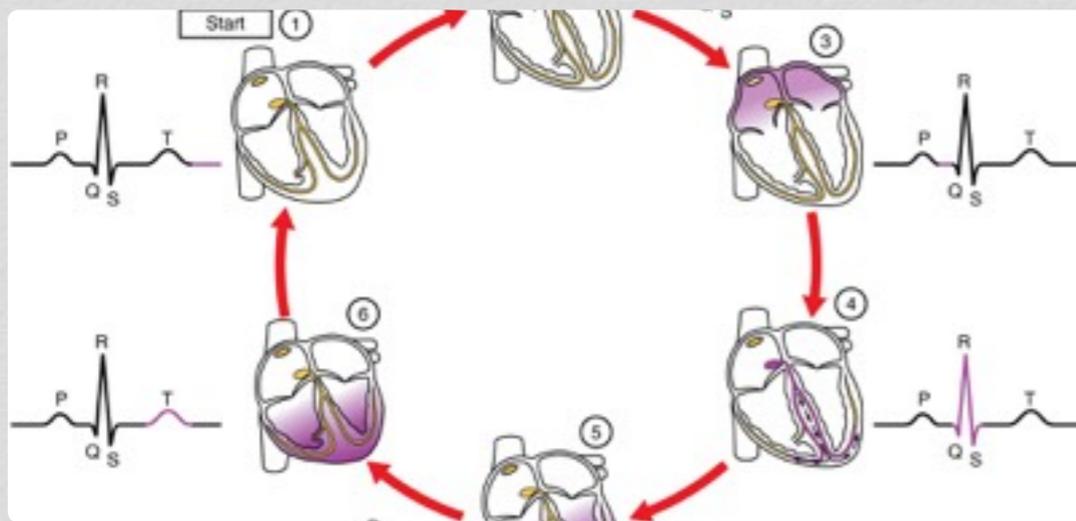


Introduzione

Im.....

La vita dell'Universo e ovviamente della Terra è sempre stata accompagnata, sarebbe più corretto dire che si è sviluppata grazie alla presenza di fenomeni elettrici, addirittura la vita dell'uomo non potrebbe esistere così come

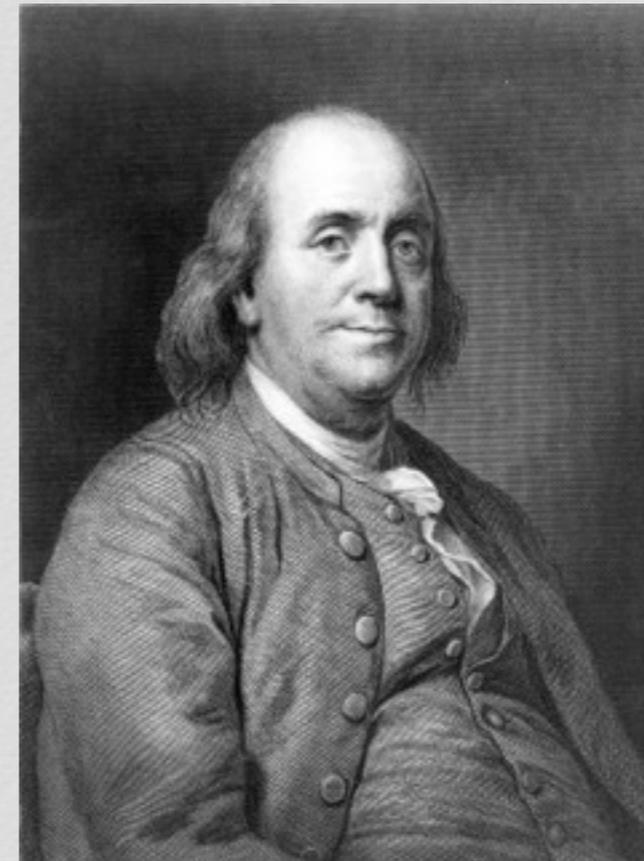
GALLERIA Introduzione.1 L'elettricità nel corpo umano



Il battito del cuore è stimolato da impulsi elettrici

si conosce senza la presenza dei fenomeni elettrici, di fatto il complesso sistema del corpo umano funziona in grande parte grazie, ma non solo, a fenomeni elettrici; l'idea di un Frankenstein nasce proprio da questa sempli-

Personaggi 1 Benjamin Franklin



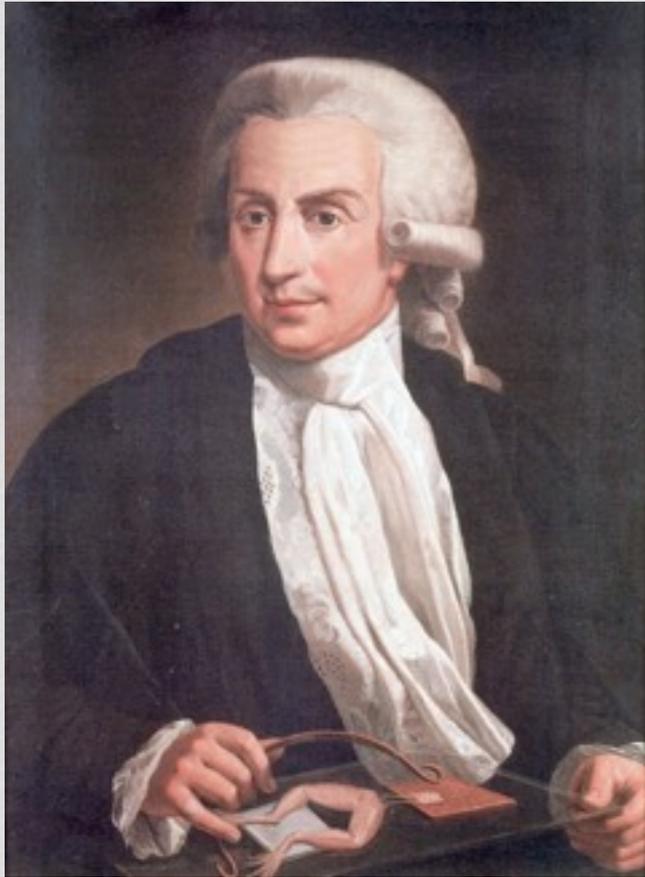
ce considerazione. Solo negli ultimi secoli tuttavia si sono sviluppate le conoscenze che hanno permesso all'uomo di trarre beneficio volontario e diretto da questi fenomeni, fino ad una quasi totale dipendenza dall'elettricità, dovesse esserci un black-out nelle nostre città tutto o quasi si fermerebbe.

Dall'elettricità all'elet-

trotecnica

Storicamente dalla seconda metà del 1700 si sono prodotti esperimenti scientifici sull'elettricità che hanno portato allo sviluppo di innumerevoli settori produttivi o teorie scientifiche nelle quali l'elettricità è coinvolta. Tra i personaggi di quel tempo si ricordano B. Franklin (elettri-

Personaggi 2 Luigi Galvani



cità atmosferica), A. Volta (elettricità sviluppata da pile di metalli intervallati da una soluzione acidula) e L. Galvani (elettricità in esseri viventi), ovviamente sono solo alcuni degli studiosi che si sono dedicati a questo settore. Dal 1750 ad oggi si sono fatti passi da gigante, nel settore industriale dove ormai tutti i macchi-

nari sono elettrici, nella vita quotidiana dove si parla in maniera naturale di elettrodomestici come qualcosa di essenziale, dall'informatica strettamente legata all'elettricità fino ad arrivare alla medicina dove i sistemi di diagnosi di cura e di intervento sono spesso (quasi sempre) dipendenti dall'elettricità.

È importante comprendere che negli ultimi anni da fenomeno naturale puro e semplice l'elettricità si è trasformata in uno dei componenti fondamentali dello sviluppo tecnologico e sociale. I processi lavorativi infatti richiedono l'esecuzione di un lavoro e per fare questo è necessario dell'energia, una regola molto semplice dice che quando un corpo con energia compie un lavoro cede la sua energia al corpo su cui esegue il lavoro. In questi termini si ha un'equivalenza tra lavoro ed energia, il rapporto è molto stretto si può quasi pensare che il lavoro è energia in trasformazione.

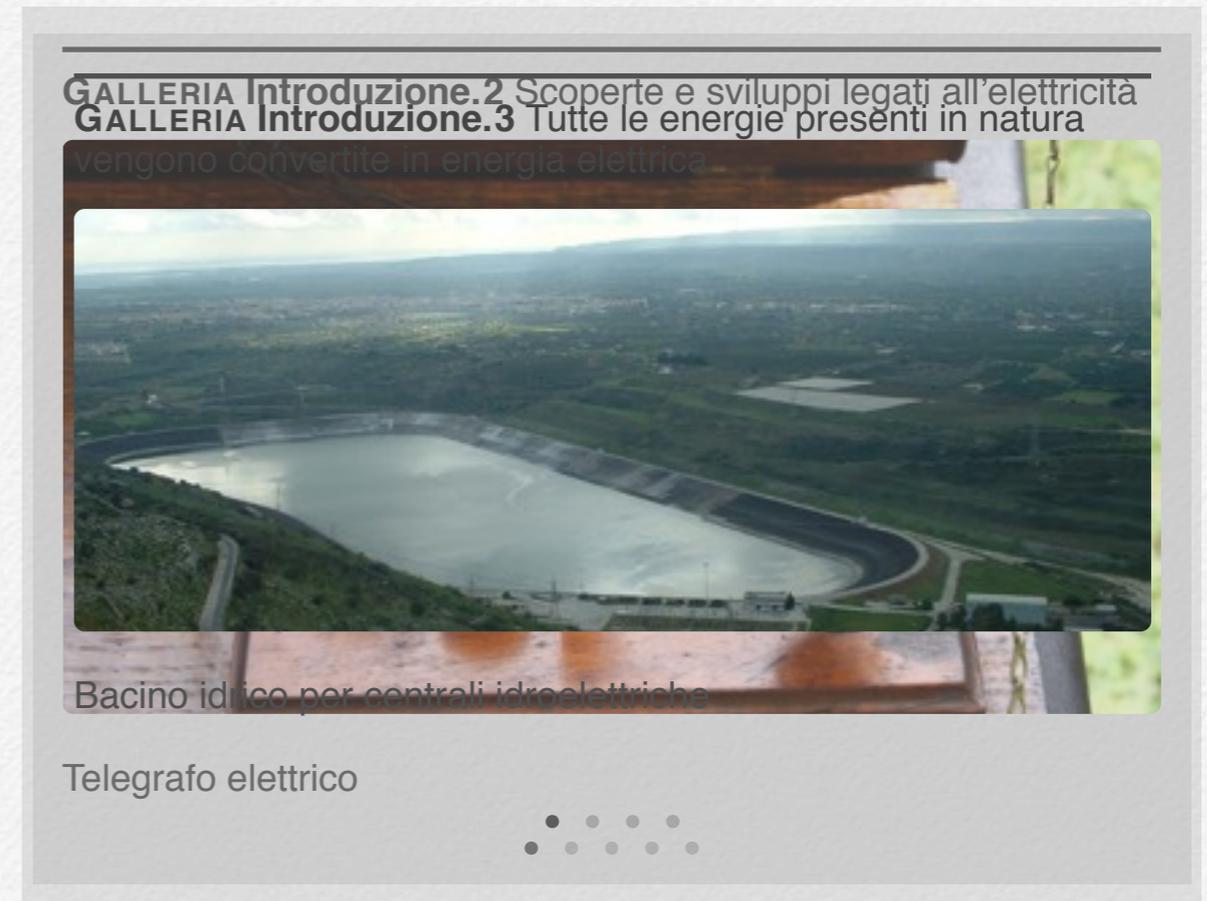
Riportando questi ragionamenti alle esigenze di un'industria o comunque di un lavoro si arriva alla conclusione che l'uomo deve recuperare energia disponibile, e attraverso la sua trasformazione in una macchina (in senso lato) e cioè attraverso il lavoro, ottenere il risultato atteso.

Questa precisazione, anche se banale, ci permette di formare il binomio quasi inscindibile tra sviluppo tecnologico e disponibilità di energia, in altri termini se si parla di sviluppo, nuove tecnologie, crescita, produzione si deve per forza parlare di energia e della sua reperibilità.

L'energia elettrica al centro della produzione industriale

Ha senso adesso cercare di capire perché tra le varie forme di energia presenti (si trascura per il momento il calore) proprio quella elettrica ha assunto un ruolo così importante in considerazione anche del fatto non trascurabile che in natura non sono presenti fonti utilizzabili di energia elettrica; ci sarebbero i fulmini ma nonostante i vari tentativi non si è ancora riusciti a costruire una macchina in grado di utilizzare quell'enorme energia che si libera in questi fenomeni.

La risposta si ritrova, come già accennato nella premessa,



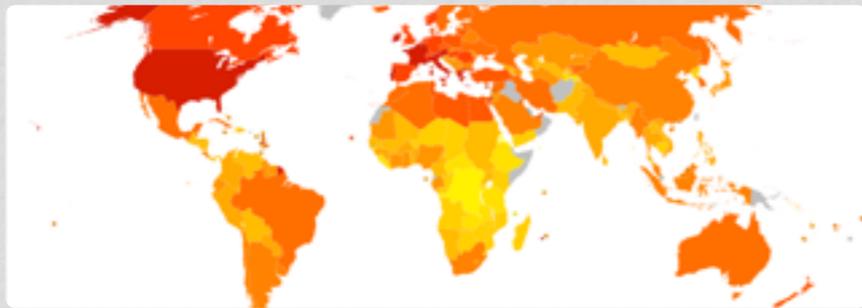
sa, nel semplice fatto che l'elettricità è presente all'interno della materia, di tutta la materia. Apparente non significa nulla ma se a questo si aggiunge il fatto che è la forza attraverso la quale gli atomi o le molecole della materia interagiscono tra di essi ci aiuta a comprendere che l'elettricità più di qualunque altra forza (naturale) è funzionale a trasferire attraverso un lavoro energia da un

corpo all'altro. In altre parole l'elettricità non è utilizzata perché è una fonte di energia ma perché facilita la trasformazione dell'energia.

Senza dilungarsi troppo e lasciando aperta la discussione a obiezioni fondate arriviamo a quella che è la conclusione, l'elettricità più di qualunque altra energia ha i seguenti pregi:

- è facile da trasportare, non si ha infatti trasporto di materia e i cavi permettono con grande facilità di trasportarla dove occorre

GALLERIA Introduzione.4 Uso dell'energia



Utilizzo dell'energia a persona per ogni giorno. I colori più marcati indicano un consumo superiore



- in collaborazione col magnetismo permette di creare con relativa facilità delle forze meccaniche
- il campo elettrico in integrazione col campo magnetico da origine alle onde o radiazioni elettromagnetiche
- si possono costruire con relativa facilità dei trasduttori cioè dispositivi che trasformano l'elettricità in altre forme di energia (questo gli permette di accoppiarsi con le altre energia)
- controllando accuratamente l'elettricità in un cavo è possibile trasmettere dei segnali che attraverso un codice diventano parole (sviluppo dell'informatica)

Questi sono alcuni dei motivi che hanno portato allo sviluppo delle apparecchiature elettriche, non si è scelto di seguire questa strada ma di fatto era la miglior (se non unica) strada percorribile.

Nei processi industriali si compie un lavoro attraverso la trasformazione dell'energia e quest'ultima può essere di vario tipo a seconda del processo lavorativo che si considera. L'energia primaria che si utilizza è strettamente legata alla disponibilità, l'industria attraverso i macchinari

deve essere in grado di trasformare l'energia primaria nell'energia necessaria al lavoro. L'elettricità recita il ruolo di intermediario tra l'energia che ho a disposizione e il lavoro che devo svolgere, in altre parole l'energia primaria viene trasformata in energia elettrica, viene trasportata, trasformata e poi convertita in energia utile per il lavoro.

Per chiarire si fanno alcuni esempi dove l'energia elettrica gioca un ruolo chiave.

Esempio 1: Si vuole usare come fonte di energia primaria quella nucleare per poter far funzionare un tornio.

Trasformare direttamente l'energia nucleare in energia meccanica risulta complicato ed una strada al momento non percorribile. Ciò che conviene fare è trasformare l'energia nucleare in energia elettrica, trasportarla all'interno dell'officina meccanica e attraverso dei motori elettrici trasformare l'energia elettrica in movimento.

Esempio 2: Si vuole usare l'energia gravitazionale (idrostatica) accumulata nell'acqua contenuta in un lago di alta montagna per sollevare oggetti pesanti (ad esempio tramite una gru) per costruire le case in pianura.

In questo caso pensare di trasportare l'energia dell'acqua direttamente in pianura è impossibile, sicuramente la strada migliore da percorrere è quella di trasformare l'energia potenziale in energia elettrica, trasportare l'energia elettrica a valle e poi trasformarla in energia meccanica in grado di sollevare degli oggetti (motore). Questo esempio ci permette di sottolineare anche che per trasportare dell'acqua sono necessarie delle condotte,

Fonte Energetica	Trasformazione intermedia	Lavoro	Macchina
Bacino Idrico	Energia Elettrica	Muovere	Motore
Nucleare		Illuminare	Lampadina
Termica		Scaldare	Stufa o Resistenza elettrica
Eolica		Avvisare	Sirena o Suoneria
Solare	
.....			

te, per la corrente elettrica bastano dei cavi flessibili, leggeri e nel complesso con problemi e costi inferiori rispetto alle condotte idriche.

Ovvio, anche da questi esempi, che il centro di un processo produttivo (tolte qualche eccezioni) è l'energia elettrica e la sua gestione, di conseguenza si può avere un quadro più o meno preciso per quanto riguarda il "mestiere tradizionale" di chi opera con l'elettricità.

Ruolo di un operatore elettrico

Se il primo compito che viene richiesto ad un elettrico è quello di essere in grado di predisporre un impianto elettrico in modo da poter trasportare l'energia elettrica dove serve (impiantista elettrico) un altro non meno importante è quello di gestione dei processi automatici di funzionamento di impianti o apparecchiature elettriche (automazione civile e industriale).

Non si deve tuttavia sottovalutare l'impatto che lo sviluppo tecnologico ha avuto in particolare su questo settore andando ad aumentare sensibilmente la varietà di lavori/opportunità che sono legati al settore elettrico.

VERIFICA Introduzione.1 L'elettricità

Domanda 1 di 2

A quando risalgono i primi storici esperimenti sull'elettricità?

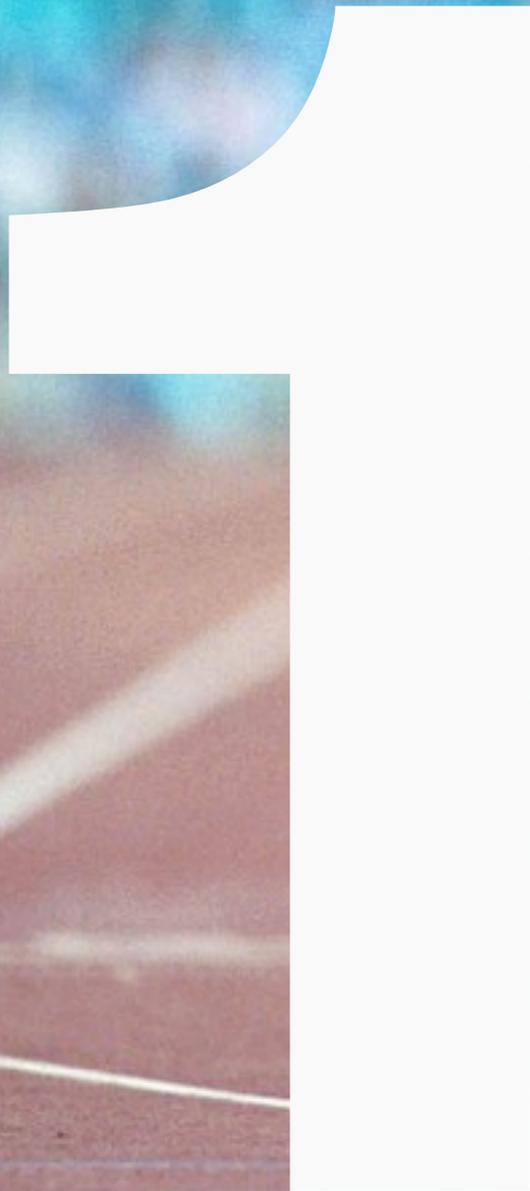
- A.** Primi anni del 1900
- B.** XXI secolo
- C.** Metà del 1700
- D.** 2000 a. C.



Verifica risposta



Lavoro, Energia



Energia

Requisiti

- 1. Conoscere il significato di proporzionalità diretta tra grandezze e saperlo applicare**

Utilizzare cioè lavorare con l'elettricità significa lavorare con l'energia elettrica; comprendere quindi cosa si intende per energia, lavoro e potenza diventa essenziale per affrontare i concetti che sono strettamente legati all'elettrotecnica. In questa prima fase di studio si trascurerà il calcolo dell'energia trasportata in un circuito elettrico e le trasformazioni che essa subisce concentrandosi essenzialmente sulla relazione che esiste tra energia, lavoro e potenza.

Lavoro e Energia

Dare una definizione di energia non è facile e sicuramente non è lo scopo di questi appunti, per avere una definizione corretta si suggerisce, come sempre, di consultare un vocabolario.

Al momento per avere un'idea di cosa si intende più che la definizione è utile comprendere come essa opera, vengono proposti degli esempi.

Si consideri un oggetto qualsiasi in una posizione qualsiasi in un qualunque stato o condizione, a tutti è chiaro che se si vuole modificare lo stato dell'oggetto, la sua posizione, la sua forma ecc. si deve fare "fatica", più preci-

samente si deve avere “qualcosa” che ci permette di compiere il lavoro che dobbiamo svolgere. L’energia è questo “qualcosa”, cioè una grandezza che identifica per un oggetto la possibilità, intesa come avere le risorse, per eseguire un lavoro.

L’energia quindi è in continua trasformazione e viene trasferita da un corpo all’altro assumendo forme differenti a seconda delle possibilità del corpo, ad esempio una particella che presenta una carica elettrica può immagazzinare energia elettrica ma una particella che non ha carica elettrica non potrà mai immagazzinare questo tipo di energia; questo discorso si può estendere anche alle altre caratteristiche delle particelle.

Quando si vuole compiere un lavoro ad esempio sollevare un oggetto si deve applicare una forza, per applicare una forza si deve possedere energia. Applicando la forza, cioè usando energia, si compie un lavoro e si trasferisce energia al corpo interessato, in questo esempio l’oggetto viene sollevato ed acquista così energia potenziale gravitazionale. A sua volta questo corpo potrà, visto che possiede energia compiere un lavoro.

Apparentemente il ciclo di trasformazione dell’energia sembra un ciclo senza fine dove l’energia viene trasferita da un corpo all’altro senza subire variazioni, nella real-

1J (leggi Joule) corrisponde all’energia posseduta da una massa di 1kg che si muove alla velocità di 1m/sec, alternativamente si può pensare a 1J come all’energia che serve per sollevare di

tà non tutta l’energia può essere riutilizzata, si ha quindi la necessità di trovare sempre nuove fonti di energia.

Unità di misura

L’unità di misura prevista nel sistema internazionale SI è il Joule (J);

Nella pratica del mondo elettrico questa unità di misura è troppo piccola, si preferisce ricorrere ad un’altra unità di misura il Wattora (Wh), di questa unità se ne parlerà nei prossimi paragrafi.

Indipendentemente dalla forma che assume, proprio perché si tratta sempre di energia, ha sempre la stessa unità di misura, tra queste forme di energia si ha anche:

- il calore che si può misurare quindi in Joule.
- il lavoro, non è propriamente una forma di energia ma indica l'energia che attraverso una forza si può trasferire ad un corpo; matematicamente si tratta di una differenza tra energie il che autorizza ad utilizzare come unità di misura del lavoro il joule.

Esempi pratici

Dopo queste precisazioni fatte sull'unità di misura si possono fare esempi numerici su quello che può essere un bilancio energetico.

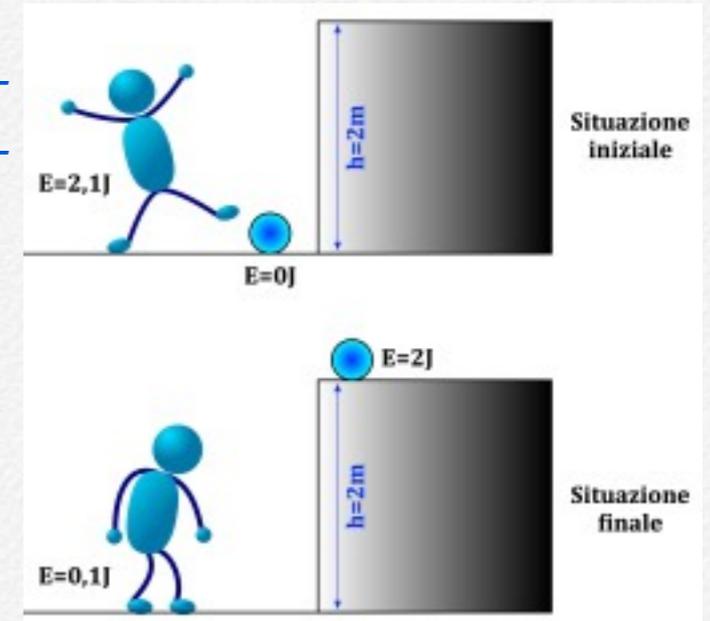
Esempio 1:

Si immagina di voler sollevare all'altezza di 2m un corpo della massa di 100g.

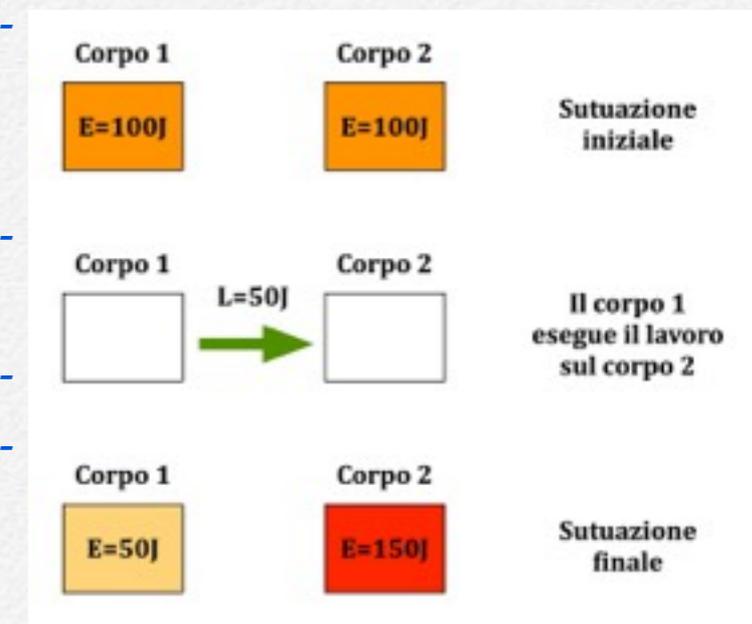
La condizione necessaria per eseguire il lavoro è possedere energia sufficiente per portarlo a termine; questa energia dipende dalle condizioni finali dell'oggetto e in questo caso poiché l'altezza è di 2m serve un'energia di 2J (non è importante il calcolo, in questo momento è importante il valore).

La trasformazione dell'energia che avviene in questo esempio può essere riassunta nel seguente modo:

- *inizialmente per compiere il lavoro si deve avere un'energia $>2J$, si supponga che abbia un'energia di 2,1J;*
- *attraverso una forza compie un lavoro di 2J a favore del corpo che si deve sollevare, che inizialmente supponiamo avesse un'energia di 0J.*



- *Alla fine del lavoro l'energia verrà trasferita dal corpo che esegue il lavoro al corpo che subisce il lavoro e si avrà per il corpo che esegue il lavoro un'energia di $2,1J-2J=0,1J$ mentre il corpo che subisce il lavoro avrà un'energia pari a*



$$0J+2J=2J.$$

Si fa notare che l'energia totale a disposizione del sistema nel suo complesso prima e dopo il lavoro rimane la stessa $=2,1J$.

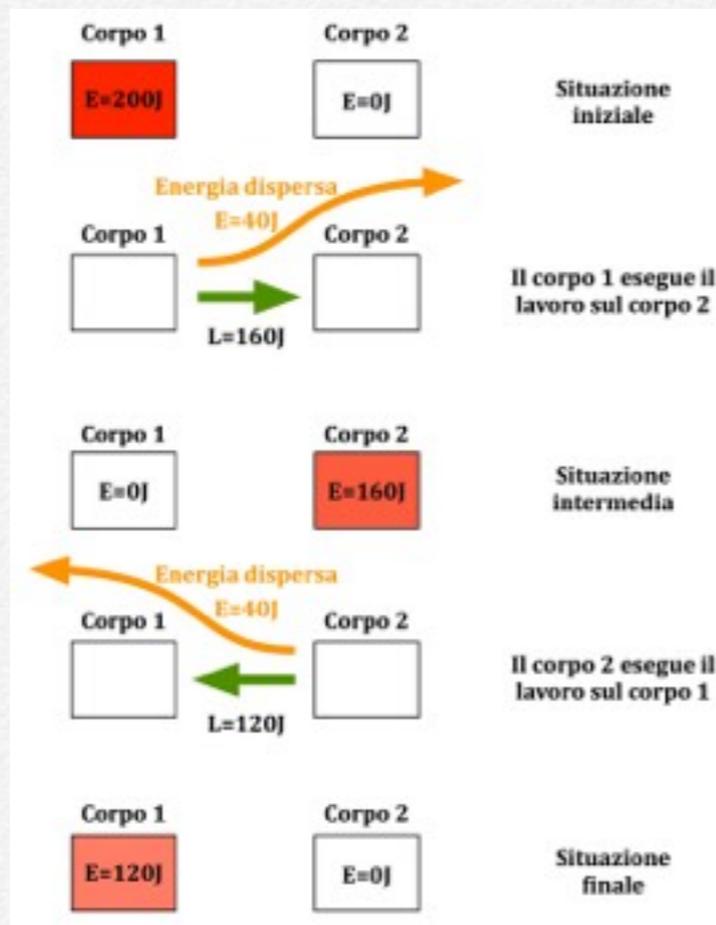
Esempio 2:

Due oggetti hanno la stessa energia iniziale di $100J$; il primo oggetto compie un lavoro di $50J$ sul secondo. Quali saranno le energie finali dei due oggetti?

Poiché il primo dei due oggetti farà un lavoro spenderà energia a vantaggio del secondo che subendo il lavoro riceve energia. In conclusione si avrà sul primo corpo un'energia di $50J$ e sul secondo $150J$.

Esempio 3

Un corpo ha inizialmente un'energia di



$200J$ mentre un secondo corpo ha un'energia di $0J$. Durante un primo lavoro il primo corpo trasferisce tutta la sua energia al secondo corpo mentre successivamente durante un secondo lavoro è il secondo corpo a trasferire tutta la sua energia al primo. Purtroppo durante ogni trasferimento si perde un'energia pari a $40J$. Quale sarà l'energia finale dei due corpi e quanta energia si deve comprare per riportare i due corpi alla situazione iniziale?

Si procede con ordine. Durante la prima trasformazione il primo corpo trasferisce tutta la sua energia ($200J$) al secondo, però al secondo non arriva tutta l'energia trasferita in quanto un po' ($40J$) ne viene persa, quindi sul secondo corpo dopo il lavoro si avrà un'energia di $200J-40J=160J$.

Durante il secondo lavoro i ruoli si invertono, il secondo corpo compie il lavoro, il primo lo riceve e c'è sempre una perdita di energia, il risultato finale è che sul primo corpo ci sarà un'energia pari a $160J-40J=120J$ mentre sul secondo corpo ci sarà un'energia pari a $0J$.

La somma delle energie all'inizio era di $200J+0J=200J$ mentre alla fine di $120J+0J=120J$, è necessario quindi

Potenza

Requisiti

- 1. Conoscere il concetto di Energia e Lavoro**
- 2. Saper usare le unità di misura dell'energia e del tempo**

Si riprende dall'ultimo concetto visto nella sezione precedente. L'energia che si deve usare non dipende dalla macchina che esegue il lavoro ma solo dal lavoro che si deve compiere, e questo deve essere chiaro. Si potrebbe obiettare che in realtà non è esattamente vero, per prevenire queste giuste critiche diciamo che ci troviamo in una situazione ideale, dove cioè tutta l'energia usata diventa lavoro e viene poi immagazzinata dal corpo che subisce il lavoro.

Ovviamente due macchine differenti che sono chiamate a compiere un lavoro avendo caratteristiche differenti eseguiranno lo stesso lavoro in maniera differente.

Una di queste caratteristiche, se non l'unica, è la velocità che impiegano nel trasformare energia cioè nel compiere il lavoro; una macchina può essere in grado per come è stata costruita di trasformare l'energia (compiere un lavoro) velocemente e un'altra più lentamente, ovviamente la macchina più lenta richiede più tempo per compiere lo stesso lavoro.

Questa caratteristica prende il nome di potenza di una macchina; per una definizione, seguendo il ragionamento fatto, si può dire che

la potenza indica la velocità con la quale una macchina è in grado di compiere un lavoro

più la potenza è alta e più la macchina o il corpo esegue il lavoro velocemente, più la potenza è bassa e più il lavoro viene svolto lentamente.

Formule

La relazione matematica che lega tra loro energia e potenza è intrinseca nella definizione stessa di potenza, è il rapporto tra lavoro (energia) e tempo impiegato a compiere il lavoro

$$P = \frac{L}{t} = \frac{E}{t}$$

dove:

- **P** indica la potenza con la quale viene svolto un lavoro
- **L** indica il lavoro che si deve svolgere
- **E** è l'energia impiegata per compiere il lavoro
- **t** è il tempo che si impiega a compiere un lavoro

A questa si affiancano le formule inverse utili per il calcolo dell'energia impiegata o del tempo necessario per compiere un lavoro

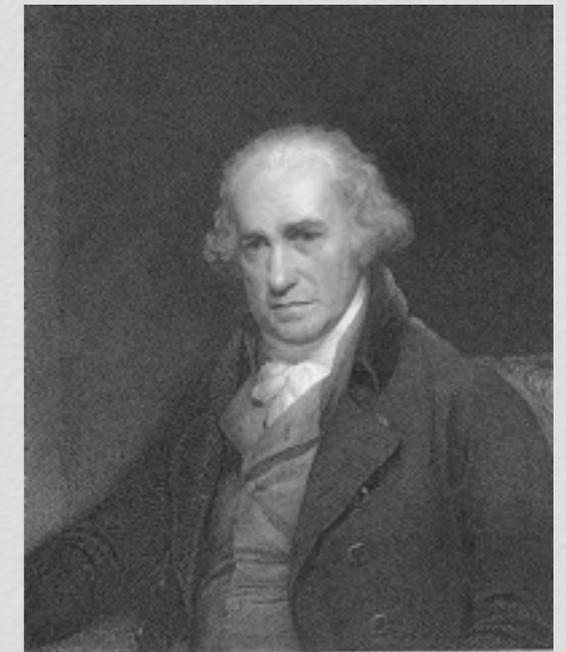
$$E = P \cdot t$$
$$t = \frac{E}{P}$$

Unità di misura

Nel sistema internazionale l'unità di misura della potenza è il Watt (W), in onore dell'inventore scozzese James Watt; tuttavia si possono trovare in uso altre unità di misura quali il Cavallo Vapore (CV) europeo, quasi equivalente all'Horse Power britannico (HP). Nel mondo termico si possono trovare le calorie per ora cal/h.

È utile adesso sottolineare come nella misura del tempo si possono avere delle unità differenti, quali i secondi, i minuti, le ore, i giorni ecc. Ma è ancora più importante segnalare che oltre a questo si possono avere anche delle scale differenti quali la scala decimale (1K=1000) o la sessagesimale (1h = 3600sec), in particolare quest'ultima scala di gran lunga la più usata nella pratica non è la

Personaggi 3 James Watt



stessa scala usata per la potenza o l'energia (entrambe usano la scala decimale). Questo significa che la scelta dell'unità di misura del tempo porta ad avere una diffe-

1W (leggi Watt) corrisponde alla potenza di un corpo che riesce a compiere un lavoro di 1J nel tempo di 1 sec.

rente unità di misura dell'energia, più precisamente si parla di Joule solo quando il tempo viene misurato in secondi.



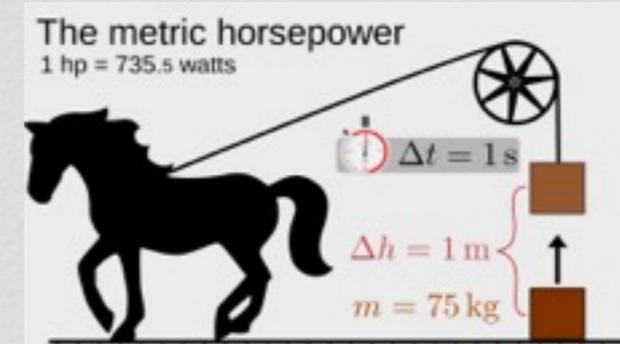
Nella situazione realistica, cioè con l'utilizzo delle macchine nella vita lavorativa o quotidiana il tempo è più pratico misurarlo in ore (difficilmente si sente dire la luce è

1W (leggi Watt) corrisponde alla potenza di un corpo che riesce a compiere un lavoro di 1Wh

rimasta accesa la luce per 7200 sec!! È normale invece dire che la luce è stata accesa per 2h), questa scelta di

misura del tempo porta a misurare l'energia in wattora, quindi è possibile definire il Watt anche nel seguente

FIGURA 1.1 Il Cavallo Vapore



In questa immagine si ha una definizione pratica del Cavallo Vapore: è la potenza sviluppata da una macchina che è in grado di sollevare di 1m una massa di 75kg nel tempo di 1 sec.

modo:



Ritornando alle unità di misura dell'energia si può comprendere il perché del nome

Raramente nel mondo elettrico è possibile trovare l'unità di misura dei Cavalli Vapore CV, senza preoccuparsi della definizione si indica qual è il rapporto di conversione con i Watt.

$$1CV = 735,5W = 0,7355kW$$

$$1HP = 745,7W = 0,7457kW$$

Si ricorda che 1kW corrisponde a 1000W. Per la conversione inversa si possono usare le conversioni:

$$1kW = 1,36CV$$

$$1kW = 1,34CV$$

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la potenza di una macchina che riesce a compiere il lavoro di 120J in un tempo di 3sec.

Dati

$$L = 120J$$

$$t = 3sec$$

Soluzione

$$P = \frac{L}{t} = \frac{120J}{3sec} = 40W$$

Esercizio 2:

Determinare la potenza di una macchina che riesce a compiere il lavoro di 120J in un tempo di 3min (i minuti si possono indicare con un apostrofo --> 3')

Dati

$$L=120J$$

$$t = 3' = 3 \cdot 60sec = 180sec$$

Soluzione

$$P = \frac{L}{t} = \frac{120J}{180sec} = 0,66W$$

Esercizio 3:

Determinare la potenza di una macchina che riesce a compiere il lavoro di 360Wh in un tempo di 3h

Dati

$$L = 360Wh$$

$$t = 3h$$

Soluzione

$$P = \frac{L}{t} = \frac{360Wh}{3h} = 120W$$

Esercizio 4:

Determinare l'energia usata da una macchina che ha una potenza $P=500W$ se viene usata per 2,5h.

Dati

$$P = 500W$$

$$t = 2,5h$$

Soluzione

$$E = P \cdot t = 500W \cdot 2,5h = 1250Wh$$

Esercizio 5:

Determinare l'energia necessaria per far funzionare una lampadina della potenza di 11W per un tempo $t=12h$.

Dati

$$P = 11W$$

$$t = 12h$$

Soluzione

$$E = P \cdot t = 11W \cdot 12h = 132Wh$$

Il contratto di energia elettrica

Sulla carta i concetti trattati in questo capitolo sono molto semplici e probabilmente anche già conosciuti, non ci sono difficoltà e il tutto sembra filare liscio, c'è solo un problema o meglio una domanda alla quale nella realtà si deve cercare di rispondere: dove si trova l'energia necessaria per far funzionare l'impianto elettrico?

La risposta è ovvia: si deve comprare!

Senza energia non si fa niente e nel commercio dell'energia gestire le fonti primarie di energia diventa strategico e di grande importanza economica e politica. Sul

mercato l'energia viene ricavata sfruttando fonti di energia più o meno rinnovabili da aziende che dopo averla convertita in energia elettrica la rivendono all'utente finale privato o pubblico che sia.

Questo significa che il privato non compra energia generica ma acquista energia elettrica. Il problema si sposta ora sulle altre due questioni:

- come viene quantificata?
- con che potenza?

La prima questione è strettamente legata ad un problema commerciale di compravendita. La seconda ha un interesse più pratico, ci ricorda innanzitutto che si sta acquistando energia e non potenza e permette di sapere qual è la potenza di cui si dispone nel proprio impianto per l'uso dell'energia.

La quantificazione dell'energia: il contatore

Nella pratica il tutto è regolamentato attraverso un contatore di energia installato all'ingresso del nostro impianto che ha lo scopo di quantificare l'energia richiesta all'ente che fornisce energia elettrica. I moderni contatori, chiamati elettronici, permettono di monitorare (controllare)

anche la potenza di lavoro di un impianto in modo limitarne il valore se necessario.

GALLERIA 1.1 Contatori di energia elettrica



Contatore elettronico

• •

Un discorso più ampio sul conteggio dell'energia e sulla limitazione della potenza potrà essere fatto in un secondo momento dopo che si saranno approfonditi alcuni concetti elettrici.

Nel momento in cui si collega un elettrodomestico o un macchinario all'impianto il contatore posto all'ingresso dell'appartamento comincia a contare l'energia che viene richiesta, cioè effettivamente quanti KWh (chilowattora) vengono usati. L'informazione viene poi trasferita al fornitore che procede in base al contratto a emettere la fattura.

Il contratto

La presenza di un contatore certificato, che non può essere modificato o manomesso, è essenziale per sedersi ad un tavolo con l'azienda fornitrice e discutere di un contratto.

Due sono gli aspetti da chiarire:

- quale piano tariffario si ha intenzione di adottare (modificabile ovviamente nel tempo)
- che potenza massima si vuole richiedere

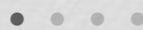
Il secondo punto è forse meno conosciuto ma comunque di grande importanza.

Stabilire un limite alla potenza massima che si ha intenzione di richiedere, significa per ciò che è stato detto nella sezione precedente stabilire il limite di macchine, cioè elettrodomestici, collegate all'impianto che posso far funzionare contemporaneamente. I contratti di fornitura possono prevedere ad esempio potenza di 3KW (forse ancora quella più diffusa), 4,5KW ecc. Stabilito questo valore si individuano dei limiti l'utente si impegna a non superarlo. I moderni contatori interrompono la fornitura di energia se si supera per un certo tempo i limiti previsti. Per un'idea più chiara si possono trovare, presso i siti internet di vari fornitori, i fogli informativi (.pdf) che in maniera più o meno dettagliata spiegano la logica di intervento dei contatori.

GALLERIA 1.2 Esempio di bolletta per la fornitura di energia elettrica



Esempio di bolletta, è solo la 1^a pagina, sulle altre si analizzano i consumi nel dettaglio



Se ad esempio in un appartamento con impianto con un contratto di fornitura da 3KW si collegano contemporaneamente un asciugacapelli 2000W, una stufa elettrica

Elettrodomestic o	Potenza	Tempo di utilizzo
Microonde	800W	1/2h
TV	120W	10h
PC	200W	12h
Luce 3x*	11W	4h
Asciugacapelli	2000W	20'=1/3h

*3x indica che ci sono 3 lampadine con quelle caratteristiche

1000W e un ferro da stiro 1500W, ci si ritrova nelle condizioni di superare il limite contrattuale. La potenza di utilizzo totale risulta di 4500W (si sommano le tre potenze) contro un limite di potenza contrattuale di 3KW = 3000W! Se l'utilizzo dei tre elettrodomestici continua nel

tempo il contatore toglierà l'alimentazione all'appartamento.

In alcune situazioni l'uso dell'energia elettrica si intensifi-

Elettrodomestic o	Potenza	Tempo di utilizzo	Energia al giorno
Microonde	800W	1/2h	400Wh
TV	120W	10h	1200Wh
PC	200W	12h	2400Wh
Luce 3x*	11W	4h	132Wh
Asciugacapelli	2400W	20'=1/3h	800Wh

ca a tal punto che conviene richiedere il passaggio ad un livello di fornitura superiore, ad esempio da 3KW a 4,5KW.

La bolletta contiene l'energia usata e la spesa relativa, per poter calcolare la spesa si deve conoscere il costo che è espresso in €/KWh cioè quanti euro si pagano per ogni chilowattora utilizzato. Generalmente questo valore si aggira attorno ai 0,11-0,14€/KWh. Per il calcolo complessivo della fattura da pagare si devono aggiungere le spese fisse quali ad esempio il trasporto o il noleggio del contatore e ovviamente le tasse (IVA). Per questo moti-

vo viene considerato il costo dell'energia al lordo delle spese aggiuntive che per l'esempio riportato nella [Galleria 1.2](#) è di circa 0,21€/KWh, quasi il doppio.

Esercizi

Esercizio1:

Una lampada 11W viene lasciata accesa per 14h al giorno. Determinare il consumo annuo di energia elettrica.

Dati

$$P = 11W$$

$$t = 14h$$

$$1\text{ mese} = 30\text{gg}$$

$$1\text{ anno} = 12\text{ mesi}$$

Soluzione

$$E_{\text{Giorno}} = P \cdot t = 11W \cdot 14h = 154Wh$$

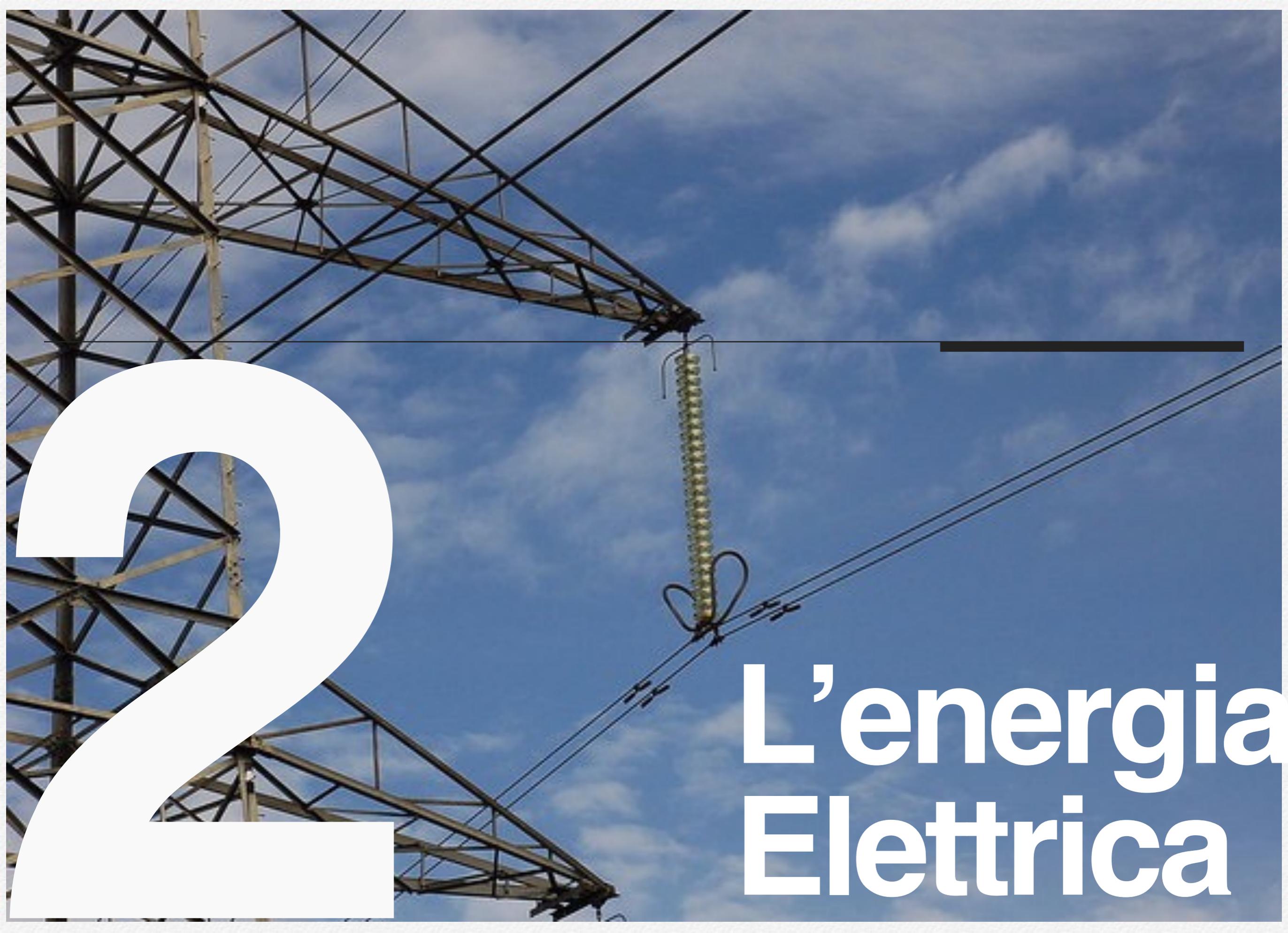
$$E_{\text{Mese}} = E_{\text{Giorno}} \cdot 30\text{gg} = 4620Wh = 4,62KWh$$

$$E_{\text{anno}} = E_{\text{Mese}} \cdot 12\text{mesi} = 4,62Wh \cdot 12 = 54,44KWh$$

Esercizio2:

Un appartamento usa durante una giornata i seguenti apparecchi:

Determinare l'energia consumata in 1gg (giorno) e l'ener-



?

L'energia
Elettrica

La carica elettrica

Prerequisiti

1. Proporzionalità diretta
2. Proporzionalità inversa

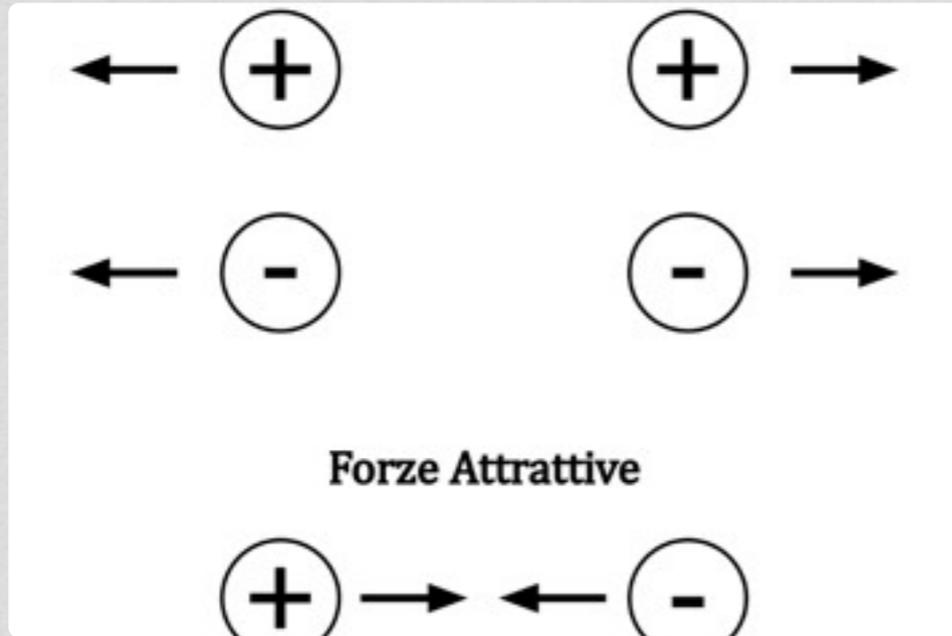
I fenomeni elettrici traggono origine dalla presenza delle cariche elettriche e delle forze che su di esse agiscono. Si tratta di forze attrattive e repulsive che regolano il movimento delle cariche elettriche nello spazio.

Le particelle che presentano queste forze possono avere comportamenti diametralmente opposti, quando una particella viene attratta l'altra ne è respinta; per evidenziare questo differente comportamento le particelle vengono suddivise in cariche positive (rappresentate dal +) e cariche negative (rappresentate dal segno -). Il segno opposto delle cariche sottintende un comportamento opposto, cioè se la carica positiva in una determinata situazione viene attratta, la carica negativa nella stessa situazione viene respinta.

Le forze elettriche sono attrattive quando le cariche hanno segno opposto e repulsive quando hanno lo stesso segno.

Approfondendo meglio questa forza attraverso opportuni esperimenti si è scoperto che la sua intensità è tanto maggiore quanto più grande è la carica delle particelle e

GALLERIA 2.1 Attrazione e repulsione tra cariche



Cariche dello stesso segno si respingono e cariche di segno opposto si attraggono

• •

diminuisce con l'aumento della distanza tra le due particelle, al quadrato (vedi [Galleria 2.1](#)).

Questa forza di fondamentale importanza per lo studio dei fenomeni elettrici può essere riassunta in una formula proposta per la prima volta dal fisico francese Charles

Augustin de Coulomb, da cui prese il nome ed è tutt'oggi ancora conosciuta come legge di Coulomb:

$$F_E = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

La dimensione delle cariche elementari

La presenza della forza elettrica è un fatto naturale in quanto le particelle che compongono l'atomo, in particolare i protoni (presenti nel nucleo insieme ai neutroni) e gli elettroni esterni al nucleo, hanno un comportamento elettrico (si attraggono e respingono!). L'elettrone è associato alla carica negativa, si dice che ha carica -1,

Personaggi 4 Charles Augustin de Coulomb



mentre il protone è associato alla carica positiva, si dice che ha carica +1.

Poiché tutta la materia è composta da atomi, in tutta la materia avvengono fenomeni elettrici, tuttavia come si sa e come verrà approfondito successivamente, non tutta la materia presenta lo stesso comportamento elettrico. L'elettricità che si sviluppa per tutta la materia all'interno dell'atomo (e della molecola, si vedano gli approfondimenti in chimica) interessa particelle microscopiche invisibili ad occhio nudo della dimensione di milionesimi di mm, cioè per avere l'idea della dimensione (diametro) di un atomo si deve dividere 1mm in un milione di parti e prenderne una.

Diversamente l'elettricità con cui si ha quotidiana esperienza, con cui cioè si può lavorare è legata a 3 fattori:

1. l'elettricità atomica (presente comunque)
2. la struttura dell'atomo per lo specifico materiale
3. dal modo in cui gli atomi si legano tra loro per formare il materiale

A dirla tutta gli ultimi due fattori sono ancora legati al primo (tutto nasce dall'elettricità atomica) ma al momento non interessa di questi appunti approfondire la questione.

Per distinguere il mondo in cui generalmente si opera dal mondo invisibile dell'atomo si chiamerà macroscopico il primo e microscopico il secondo.

La quantità di carica e la sua unità di misura

Il numero di cariche in gioco nel mondo macroscopico è straordinariamente alto, a livello atomico si parla di qualche decina (in casi particolari si arriva a qualche centinaia) di cariche elettriche elementari, nel mondo macroscopico il numero di particelle coinvolte sono di tutt'altro ordine di grandezza (si parla di miliardi di miliardi di cariche). Se si pensa che in 18g di acqua si hanno circa

La quantità di carica di 1C corrisponde a $6,25 \cdot 10^{18}$ cariche elementari, circa 6 miliardi di miliardi di cariche

$6,022 \cdot 10^{23}$ (602200000000000000000000) molecole e che ogni molecola contiene 36 cariche, ci si accorge che non è possibile analizzare il comportamento del sistema studiando la forza su ogni singola carica, inoltre la quantità di carica in gioco diventerebbe difficile da gestire se ci si rifacesse al numero di cariche presenti.

Per questi motivi nel mondo macroscopico per misurare la quantità di carica q (alcuni usano la lettera maiuscola Q) si utilizza un multiplo della carica elementare che in onore del fisico francese viene chiamato Coulomb (C).

Con questa unità di misura la carica del protone e dell'elettrone diventano rispettivamente:

$$q_p = + 1,6 \cdot 10^{-19}C$$

$$q_e = - 1,6 \cdot 10^{-19}C$$

In realtà esiste un'altra unità di misura (in alcune circostanze più pratica del Coulomb) che è l'ampereora Ah ma di questo se ne parlerà dopo aver introdotto la corrente elettrica.

La forza di Coulomb

È possibile adesso riscrivere in maniera più completa la legge di Coulomb andando a definire anche il valore della costante moltiplicativa

$$F_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Dove se le cariche sono misurate in Coulomb la costante moltiplicativa diventa:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

La corrente elettrica

Prerequisiti

1. Energia
2. Carica elettrica
3. Proporzionalità diretta e inversa

Le cariche elettriche sono le protagoniste del mondo elettrico nel senso che sono le particelle sulle quali viene accumulata energia elettrica. Ovviamente più è grande il numero di cariche presenti e più sarà grande la quantità di energia presente, questo è ciò che l'intuizione suggerisce, tuttavia il numero di cariche non è l'unico fattore in gioco; i chiarimenti in merito a questa questione verranno proposti nel corso del capitolo.

Ciò che si può affermare con sicurezza è che per poter compiere un lavoro, trasferire quindi energia, le cariche non possono restare ferme. Quanto lavoro sono in grado di compiere al momento non interessa, ciò su cui si vuole focalizzare l'attenzione al momento è che le cariche devono muoversi, si deve avere quindi un flusso di cariche in movimento.

La quantità di energia che si può cedere attraverso un lavoro dipende quindi dal flusso di cariche (quante cariche arrivano ogni secondo) e ovviamente dal tempo di durata di questo flusso. Il flusso di cariche elettriche prende il nome di Intensità di corrente elettrica (simbolo

I), spesso viene chiamata semplicemente corrente elettrica.

Per come è stata definita esiste una relazione matematica tra la corrente elettrica e la quantità di carica elettrica che circola in un materiale:

$$I = \frac{q}{t}$$

A questa formula sono associate ovviamente delle formule inverse che permettono di calcolare, data una certa corrente, la quantità di carica passata in un dato tempo o il tempo necessario per far fluire una certa quantità di carica:

$$q = I \cdot t$$

$$t = \frac{q}{I}$$

Personaggi 5 André-Marie Ampère



Unità di misura

L'unità di misura universalmente utilizzata per misurare l'intensità di corrente elettrica è l'ampere (A), in onore del fisico francese André-Marie Ampère. L'ampere è una delle grandezze fondamentali del sistema internazionale di unità di misura SI.

Con questa scelta l'unità di misura della quantità di cari-

La corrente di 1A corrisponde alla quantità di carica di 1C che si è spostata in 1 sec.

ca (è una grandezza derivata) dipende, un po' come è successo per l'energia, dalla scelta dell'unità di misura del tempo. Nel caso in cui il tempo viene calcolato in secondi allora la quantità di carica è misurata in coulomb

Nel caso in cui il tempo dovesse essere misurato in ore (h) l'unità di misura della carica diventa l'ampere-ora Ah. Questa unità di misura è a tutti gli effetti un multiplo del coulomb e viene utilizzato ad esempio su tutti i dispositivi che accumulano carica elettrica (batterie ricaricabili)

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la quantità di carica spostata se è circolata una $I=2A$ per un tempo $t=25sec$

Dati

$$I = 2A$$

$$t = 25sec$$

Soluzione

$$q = I \cdot t = 2A \cdot 25sec = 50C$$

Esercizio 2:

Determinare la corrente elettrica circolata se si è spostata una carica $q=180C$ in un tempo $t=4'$ (minuti)

Dati

$$q = 180C$$

$$t = 2' = 240sec$$

Soluzione

$$I = \frac{q}{t} = \frac{180C}{120sec} = 0,75A$$

Esercizio 3:

Determinare il tempo che impiega una quantità di carica $q=10C$ a spostarsi se si ha un flusso di carica (cioè una corrente) $I=0,25A$

Dati

$$q = 10C$$

$$I = 0,25A$$

Soluzione

$$t = \frac{q}{I} = \frac{10C}{0,25A} = 40sec$$

Esercizio 4 (simile all'esercizio 1):

Determinare la quantità di carica spostata se è circolata una $I=0,2A$ per un tempo $t=1gg$ (giorno)

Dati

La corrente di 1A corrisponde alla quantità di carica di 1Ah che si è spostata in 1 h.

$$1Ah = 3600C$$

$$1C = 0,000277Ah$$

$$I = 0,2A$$

$$t = 1gg = 24h$$

Soluzione

$$q = I \cdot t = 0,2A \cdot 24h = 48Ah$$

I materiali e la corrente elettrica

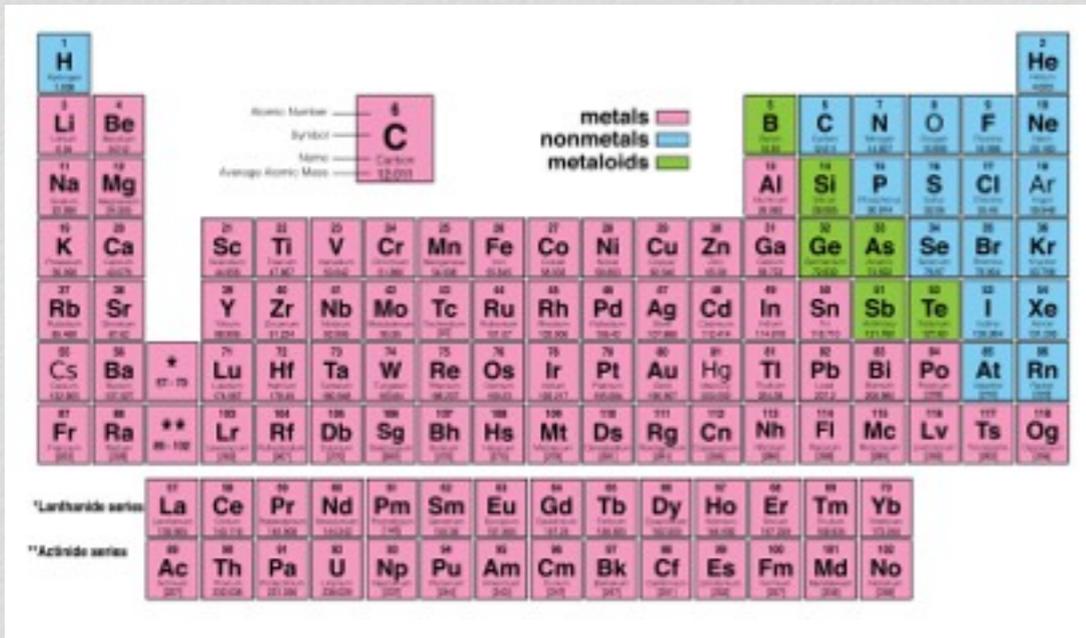
Come si è già accennato in un circuito elettrico le cariche possono compiere un lavoro quando sono in movimento - quando c'è corrente elettrica -, per questo motivo per capire come utilizzare l'energia elettrica, cioè far compiere lavoro alle cariche si deve chiarire quando e dove le cariche si possono muovere; la risposta sul quando si rimanda ai prossimi paragrafi, la risposta sul dove invece è molto semplice: all'interno dei materiali.

Ovviamente questa è una risposta insufficiente e incompleta in quanto l'esperienza insegna che i fenomeni elettrici non si manifestano in egual modo in tutti i materiali, si deve essere perciò più precisi nella selezione dei materiali da utilizzare. Sempre l'esperienza coadiuvata dalle conoscenze maturate nel corso di secoli di esperimenti ci permette di classificare i materiali in base al loro comportamento nei confronti della corrente elettrica:

- conduttori, sono materiali all'interno dei quali le cariche si possono muovere liberamente si dice infatti che si può avere corrente elettrica all'interno dei conduttori.
- isolanti, sono materiali che non permettono il movimento alle cariche elettriche, le cariche non le possono attraversare e quindi non si ha corrente elettrica all'interno degli isolanti (casi eccezionali verranno affrontati più avanti)
- semiconduttori, sono materiali particolari che hanno in 1 secolo di utilizzo acquisito un ruolo sempre più importante nello sviluppo delle apparecchiature elettroniche. I semiconduttori non sono conduttori ma possono modificare la loro capacità di condurre la corrente elettrica modificando la temperatura ambientale o con la presenza al loro interno di materiali droganti (altri elementi aggiunti in dose precisa allo scopo di controllarne il comportamento).

Si prendano ad esempio delle cariche elettriche e le si posizionino su un materiale isolante, anche se esiste una forza di attrazione o repulsione queste cariche non

FIGURA 2.1 Tavola periodica degli elementi



si sposteranno perché il materiale isolante ne impedisce il movimento.

Al contrario se le cariche si dovessero posizionare su un conduttore inizierebbero a muoversi fino a raggiungere una condizione di equilibrio, il tutto quasi istantaneamente.

Metalli, non metalli e semimetalli

La classificazione dei materiali in funzione del loro comportamento al passaggio della corrente elettrica è strettamente legata ad un'altra classificazione degli elementi

naturali ma non solo. Si tratta di una classificazione che mette in evidenza una quantità di caratteristiche superiori. Con questa classificazione i materiali si possono dividere in:

- **Metalli.** Si tratta di materiali solidi a temperatura ambiente (fa eccezione il mercurio), lucenti, buoni conduttori di calore e di elettricità. Risultano duttili e malleabili.
- **Non metalli.** Gli elementi non metallici sono gassosi a temperatura ambiente (fa eccezione il bromo che si trova allo stato liquido). Allo stato solido hanno un comportamento opposto a quello dei metalli, non sono lucenti, sono cattivi conduttori di calore ed elettricità. Non sono ne duttili ne malleabili.
- **Semimetalli.** Come dice il nome hanno un comportamento che si avvicina a quello dei metalli anche se sono differenti.

Tra gli elementi naturali i metalli sono in netta maggioranza, superano il 75%.

Definizione di Intensità di corrente elettrica

Il Potenziale

Requisiti

1. Concetto di Energia
2. Carica elettrica e corrente elettrica

Le cariche elettriche sono responsabili del trasporto dell'energia elettrica, e ovviamente più cariche partecipano al trasporto di energia e più energia viene trasportata. Conoscere il valore della corrente è necessario ma non basta per conoscere esattamente quanta energia è stata trasportata.

Per quantificare l'energia trasportata non si deve parlare, almeno per il momento, di corrente elettrica ma si deve ritornare al concetto di carica elettrica - si ricorda che sono loro che trasportano l'energia elettrica -. Come è già stato più volte detto, tra queste cariche si sviluppa una forza (quella elettrica) che dipende dalla loro distanza relativa (legge di Coulomb).

Si prendano ad esempio due cariche dello stesso segno, ad esempio positive, come dice la legge di Coulomb queste cariche tendono a respingersi. Per poterle avvicinare tra loro sono costretto a utilizzare una forza, compiere un lavoro e spendere energia.

Generalizzando l'esempio si può arrivare a concludere che per muovere delle cariche, nel senso di avvicinarle /allontanarle, si deve applicare una forza che superi quel-

la repulsiva/attrattiva di Coulomb e compiere un lavoro. Ovviamente chi muove le cariche spendendo energia compie un lavoro mentre le cariche stesse subendo il lavoro hanno adesso immagazzinato dell'energia elettrica. Quest'energia è esattamente uguale al lavoro compiuto. Le due cariche adesso posseggono energia e se fossero libere di muoversi tornerebbero nella posizione iniziale trasformando la loro energia elettrica in movimento cioè in energia meccanica (compiendo a loro volta un lavoro).

Energia potenziale

Per dare o togliere energia alle cariche le si devono allontanare/avvicinare ad altre cariche elettriche; se due cariche dello stesso segno si avvicinano (tendono a respingersi) la loro energia aumenta. Poiché quest'energia dipende dalla posizione delle cariche prende il nome di energia potenziale.

Riassumendo si può dire che nel

caso in cui nello spazio ci fosse solo una particella carica e nessun'altra fonte di elettricità la posizione della particella sarebbe ininfluente e quindi la potrei spostare senza modificare la sua energia elettrica. Nel caso in cui ci sia la presenza di due particelle muoverne una significa cambiarne l'energia potenziale.

L'esempio fatto in precedenza risulta relativamente semplice perché si hanno solo 2 cariche. Questo non avviene

praticamente mai, di solito si hanno più cariche che si influenzano reciprocamente e ricordando che una piccola porzione di materia contiene un numero straordinariamente grande di cariche elementari (miliardi di miliardi) il ragionamento fatto nel nostro esempio sarebbe difficile da riportare nella situazione reale. Non si può pensare di conoscere esattamente la posizione di tutte le cariche e studiare la loro energia!

GALLERIA 2.2 Energia potenziale elettrica



Per avvicinare una carica positiva ad un'altra devo sviluppare una forza per compiere il lavoro necessario. La carica acquista l'energia trasmessa tramite il lavoro

Anche se si deve cercare un'altra strada per lo studio dell'energia nei circuiti ciò che rimane comunque vero e valido è che l'energia elettrica di una carica dipende sempre e comunque dalla sua posizione (dal suo stato).

Il potenziale

Se muovere una carica in una certa posizione richiede un lavoro, cambiando posizione, sempre attraverso un lavoro, cambio la sua energia. Si può ritenere che ogni posizione dello spazio sia caratterizzata da un indice (un numero), un valore che indica il livello di energia che la carica assumerebbe - partendo da una posizione prefissata - se fosse spostata in quel punto.

Questo indice viene chiamato potenziale elettrico U . Definito il potenziale è possibile determinare l'energia di una particella che si trova a quel potenziale con la relazione:

$$E = q \cdot U$$

Le formule inverse risultano

$$U = \frac{E}{q} \qquad q = \frac{E}{U}$$

In queste formule le lettere corrispondono a:

U = potenziale

E = Energia

q = quantità di carica

Esempio

Si suppone di avere 3 conduttori (corpi) di grandi dimensioni per i quali si considerino le tre situazioni (in questi esempi si ipotizza che lo spostamento di cariche non influisce apprezzabilmente sul potenziale):

1 situazione:

Immaginando di spostare dal primo conduttore una carica sul secondo conduttore, che si trova al potenziale U , si deve compiere un lavoro cioè spendere energia. Riportando poi la carica sul primo conduttore il lavoro viene restituito dalla carica che cede energia.

2 situazione:



Si immagini adesso di voler spostare la stessa carica non sul secondo ma sul terzo conduttore. Se per eseguire il lavoro è necessario spendere il doppio dell'energia allora il terzo conduttore si trova ad un potenziale superiore al secondo e la carica, dopo lo spostamento, acquisterà più energia. Più precisamente poiché si deve compiere il doppio del lavoro significa che il terzo conduttore ha un potenziale che è il doppio.

3 situazione:



Si vuole spostare la carica sul terzo passando per il secondo. Prima si compie un lavoro per spostare la carica sul secondo spendendo la prima parte di energia e poi spendere l'altra parte di energia per portare la carica sul terzo conduttore.

Si arriva a concludere in questo esempio che, utilizzando il primo conduttore come riferimento, il suo potenziale varrà 0, il secondo conduttore si troverà ad un potenziale U e il terzo ad un potenziale doppio 2U.

Considerando la formula sull'energia elettrica si può arrivare a concludere che se una carica deve essere spostata da un conduttore con potenziale U_1 ad un conduttore con potenziale $U_2 > U_1$ si deve compiere un lavoro pari all'aumento di energia. In altre parole una particella passa da avere un'energia E_1

$$E_1 = q \cdot U_1$$

Quando su una carica di $1q$ si compie un lavoro di $1J$ il suo potenziale viene aumentato di $1V$.

ad un'energia E_2

$$E_2 = q \cdot U_2$$

Il lavoro quindi è dato dalla differenza tra le due energie:

Personaggi 6 Alessandro Volta



FILMATO 2.3 Il potenziale



Schematizzazione della situazione 3

$$L = E_2 - E_1 = q \cdot U_2 - q \cdot E_1 = q \cdot (U_2 - U_1)$$

Unità di misura

Nel SI l'unità di misura del potenziale elettrico è il Volt (V).

L'unità di misura è stata scelta in onore del fisico italiano Alessandro Volta.

Movimento spontaneo delle cariche

Riprendiamo e approfondiamo un concetto appena accennato: compiendo un lavoro sulle cariche (avvicino due cariche positive) cioè aumentando la loro energia e successivamente lasciandole libere di muoversi, le cariche compiono un lavoro cedendo energia, questo ci porta ad una conclusione molto semplice:

le cariche si muovono con lo scopo di diminuire la propria energia.

In questi appunti per semplicità si considerano sempre cariche positive in movimento, per queste cariche diminuire la propria energia significa diminuire il proprio potenziale quindi in maniera spontanea e naturale le cariche si spostano dal potenziale maggiore verso un potenziale minore.

Tradotto in pratica significa che se due metalli con un potenziale differente vengono collegati tramite un conduttore elettrico tra essi circola della corrente elettrica.

Ad esempio se un conduttore che si trova al potenziale $U_1=30V$ è collegato ad un altro conduttore di potenziale $U_2=10V$ le cariche si spostano spontaneamente - si crea una corrente elettrica - dal conduttore a potenziale superiore verso il conduttore a potenziale inferiore, al contrario quando due conduttori che hanno lo stesso potenziale, ad esempio $U_1=20V$ e $U_2=20V$, vengono collegati tramite un conduttore tra essi non circola corrente elettrica.

La tensione

Nel primo dei due esempi appena presentati, si ha tra i due conduttori una differenza di potenziale ddp:

$$U_1 - U_2 = 30V - 10V = 20V$$

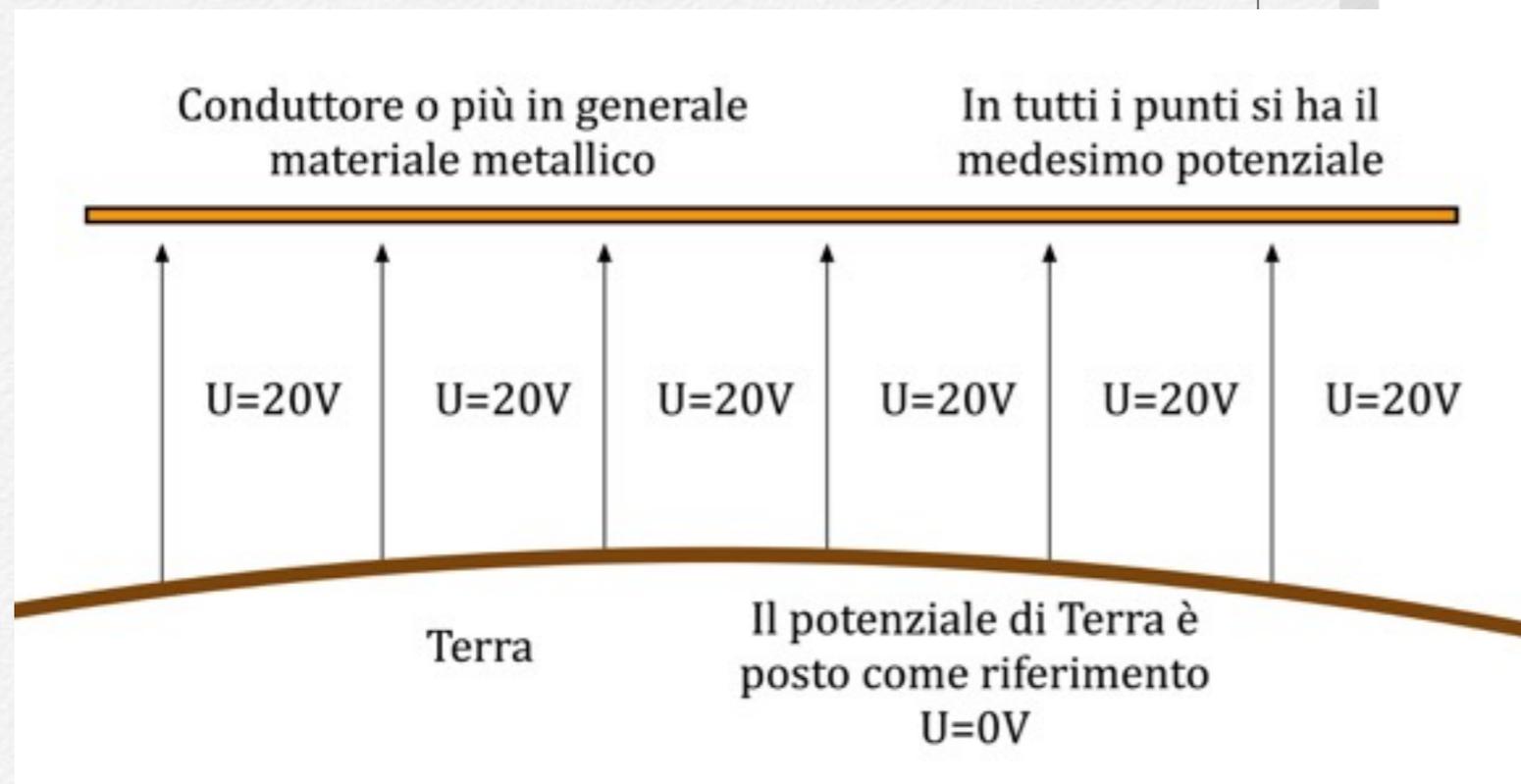
mentre nel secondo la differenza di potenziale vale:

$$U_1 - U_2 = 20V - 20V = 0V$$

La conclusione a questo punto è immediata nel senso che il passaggio di corrente tra due conduttori non dipen-

de dal loro potenziale ma si ha solo se non hanno lo stesso potenziale.

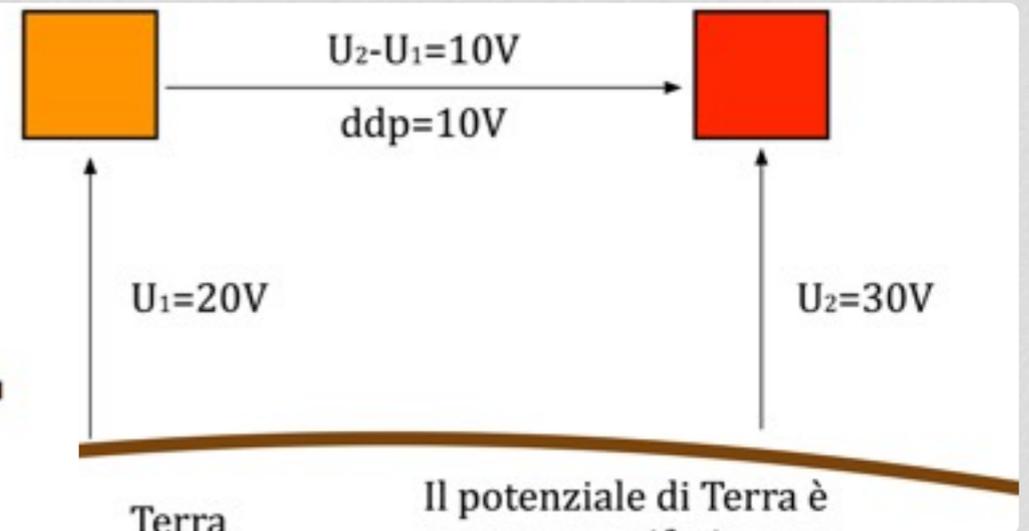
La ddp tra due punti del circuito viene anche chiamata tensione del circuito, con questa precisazione ciò che è stato detto finora può essere riassunto nel seguente modo:



tra due punti di un circuito collegati tramite in conduttore si ha passaggio di corrente elettrica quando tra essi è presente una tensione.

Il simbolo per indicare la ddp è sempre U , più precisa-

GALLERIA 2.3 Il potenziale elettrico



metallici che rispetto al medesimo riferimento hanno potenziali differenti

mente se si vuole indicare la tensione tra il punto A e B si scrive in questo modo U_{AB} ($U_{A-B} = U_A - U_B$).

Volendo essere precisi anche il potenziale presentato in precedenza è una ddp dove il riferimento ha un potenziale 0V (generalmente la Terra).

Visioni d'insieme

Prerequisiti

1. Energia e Potenza
2. Intensità di corrente
3. Potenziale elettrico

L'energia e la potenza elettrica negli impianti

Il potenziale insieme all'intensità di corrente elettrica giocano un ruolo fondamentale nei circuiti elettrici. Infatti riprendendo le formule sulla quantità di carica e sull'energia e sostituendo la prima formula nella seconda si ottiene che l'energia trasportata dalle cariche elettriche dipende dal **potenziale**, dalla **corrente** e dal **tempo** secondo la formula:

$$E = U \cdot I \cdot t$$

Quando si parla di lavoro svolto, la formula rimane esattamente la stessa con l'unica differenza (minima e trascurabile) che il potenziale elettrico viene sostituito con la differenza di potenziale U_{AB} che le cariche elettriche subiscono quando passano dal conduttore A al conduttore B.

Ricordando infine la relazione tra energia e potenza si ottiene che nel mondo elettrico la potenza è data da:

$$P = U \cdot I$$

Esistono le formule inverse, vengono riportate solo le formule inverse relative alla potenza:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$U = \frac{P}{I}$$

Esercizi

Esercizio 1:

Una corrente elettrica $I=3,5A$ scorre tra due conduttori che hanno una ddp $U=230V$. Qual è l'energia trasportata in un tempo di 1gg (giorno)

Dati

$$I = 3,5A$$

$$U = 230V$$

$$t = 1gg = 24h$$

Soluzione

$$\begin{aligned} E &= U \cdot I \cdot t = 230V \cdot 3,5A \cdot 24h = \\ &= 19320Wh = \\ &= 19,32KWh \end{aligned}$$

Si ricorda che poiché il tempo è misurato in ore l'energia si misura in Wh

Esercizio 2:

Un dispositivo assorbe una corrente $I=6A$ quando ai suoi capi è presente una tensione $U=230V$. Determinare la potenza del dispositivo.

Dati

$$I = 6A$$

$$U = 230V$$

Soluzione

$$P = U \cdot I = 230V \cdot 6A = 1380Wh = 1,38KWh$$

Il legame tra cariche/corrente e tensione

Alcune volte si può correre il rischio di ritenere che essendo due grandezze differenti, il potenziale e la quantità cariche siano indipendenti l'uno dall'altra. In realtà non è così e la tentazione che alcune volte si ha di considerarle come due tali può portare a conclusioni errate. Nella realtà le due grandezze si influenzano reciprocamente nel senso che il movimento di cariche comporta una variazione del potenziale e una variazione del potenziale è responsabile della variazione di I . Senza entrare nel dettaglio si cercherà con semplici esempi di chiarire quanto appena detto.

Si consideri ad esempio un corpo metallico che rispetto alla terra presenta una ddp. Per poter spostare su questo corpo una carica positiva devo compiere un lavoro, compiendo un lavoro cedo alla carica spostata dell'energia (energia potenziale elettrica) che va ad aumentare l'energia complessiva accumulata sul conduttore - Precisazione: l'energia che apparentemente viene portata dalla carica positiva è distribuita su tutte le cariche del conduttore - cioè sul conduttore si avrà un poten-

ziale maggiore. Volendo adesso spostare un'altra carica positiva sul conduttore come prima si deve compiere un lavoro che andrà ad aumentare il potenziale del conduttore stesso. Più cariche riesco a spostare sul conduttore più spendo energia per compiere lavoro e più aumenta il potenziale del conduttore.

Viceversa se si ha un conduttore con un potenziale superiore a quello del conduttore di riferimento significa che su questo conduttore ho accumulato delle cariche positive che sul conduttore di riferimento non ho. Nel momento in cui collego i due conduttori per quello che è stato detto alla [sezione 3](#) le cariche si spostano dal potenziale superiore al potenziale inferiore; spostandosi cedono energia compiendo un lavoro (quale energia si vedrà nei prossimi capitoli) usando parte dell'energia che era accumulata su conduttore, di conseguenza il potenziale elettrico del conduttore andrà a diminuire.

Questi esempi portano come in parte era già stato accennato a due semplici conclusioni:

- le cariche elettriche trasportano energia elettrica e quindi sono le responsabili dell'aumento o diminuzione del potenziale di un conduttore,

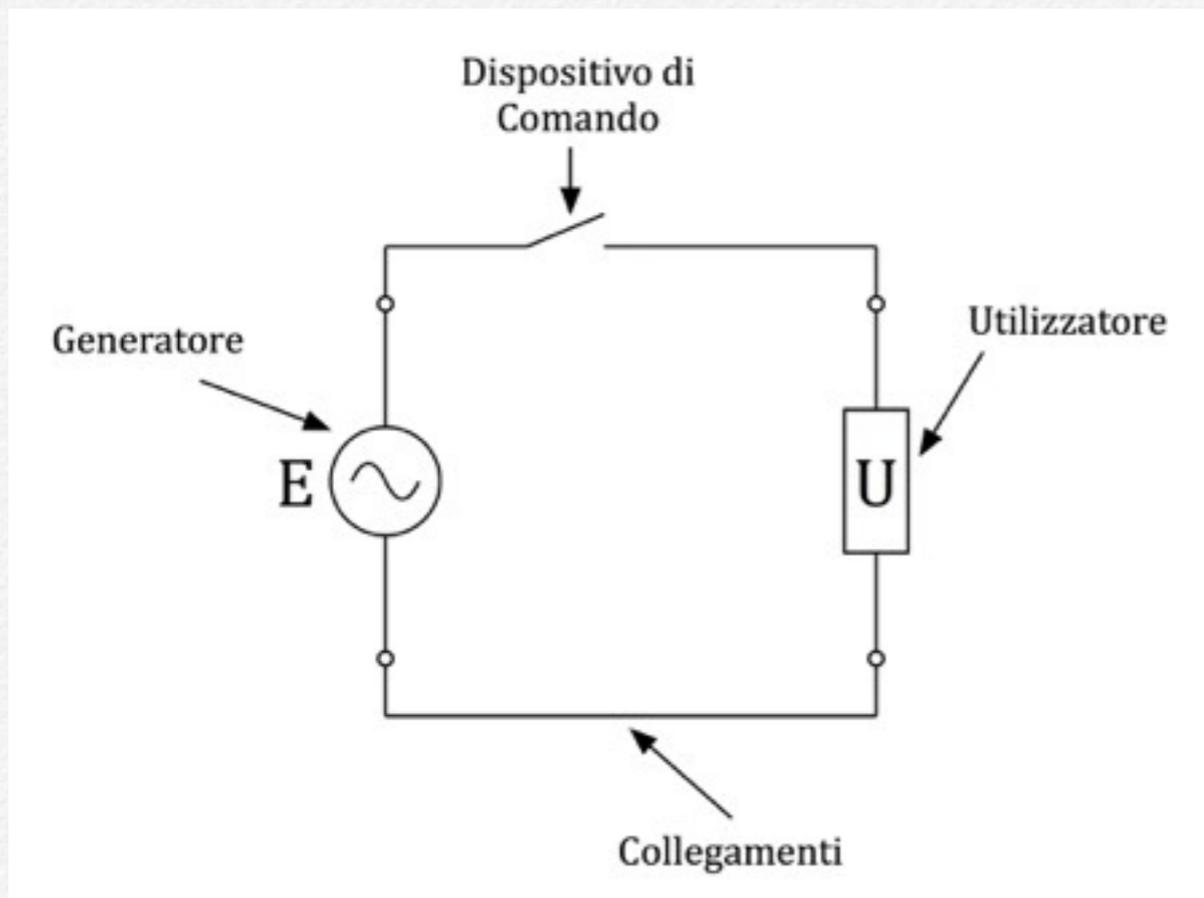
Il potenziale elettrico in un circuito

3

Lo scopo di un impianto elettrico è quello di distribuire l'energia elettrica (trasportata dalle cariche) alle macchine che poi sono in grado di utilizzarla e trasformarla in altre forme di energia.

È evidente che un circuito dev'essere composto dalle seguenti parti:

- Una macchina o dispositivo in grado di usare l'energia elettrica che viene trasportata, solitamente viene chiamato **utilizzatore**



- Un **generatore**, cioè un dispositivo che è in grado di rifornire l'impianto di energia elettrica.
- I collegamenti elettrici:
 - Un insieme di conduttori per permettere alle cariche elettriche di muoversi
 - I dispositivi di comando che permettono di controllare il funzionamento del circuito

Utilizzatore

Si intende un qualunque dispositivo che collegato in un impianto elettrico è in grado di compiere un lavoro, cioè trasformare l'energia elettrica in altra forma di energia.

Dati di targa

Come è già stato detto nel primo capitolo del libro un utilizzatore è caratterizzato da un valore di potenza caratteristico, cioè per come è stato costruito è in grado di funzionare solo alla potenza prestabilita.

Tutti gli utilizzatori devono indicare come dato di targa il valore della potenza.

Un'altro dato che deve essere fornito dal produttore è il valore della tensione di lavoro. Collegare un utilizzatore ad un potenziale sbagliato significa non farlo funzionare correttamente o in alcuni casi romperlo.

GALLERIA 3.1 Dati di targa di alcuni utilizzatori



Lampadina, nei dati stampati si riconosce la potenza $P=15W$ e la tensione di lavoro $U=230V$

La corrente che attraversa l'utilizzatore è stabilita dalla [formula della potenza elettrica](#), più precisamente alla sua [formula inversa](#).

I collegamenti elettrici

Lo scopo dei collegamenti elettrici è quello di permettere alla corrente di arrivare all'utilizzatore così da cedere l'energia che trasporta; idealmente per attraversare il circuito, e quindi prima di arrivare all'utilizzatore, le cariche non perdono energia perché non compiono lavoro.

Infatti i collegamenti tra i vari componenti elettrici sono eseguiti tramite materiali conduttori in modo da permettere alle cariche di muoversi liberamente.

Un secondo aspetto da non sottovalutare è che il circuito deve anche garantire che le cariche elettriche seguano il percorso prestabilito. Il solo materiale conduttore non basta è necessario che sia ricoperto o protetto da un materiale isolante. La maggior parte dei cavi elettrici infatti ha il conduttore ricoperto da una guaina isolante, il primo permette il passaggio delle cariche e il secondo garantisce che le cariche non fuoriescano dal percorso impostato.

Il circuito chiuso

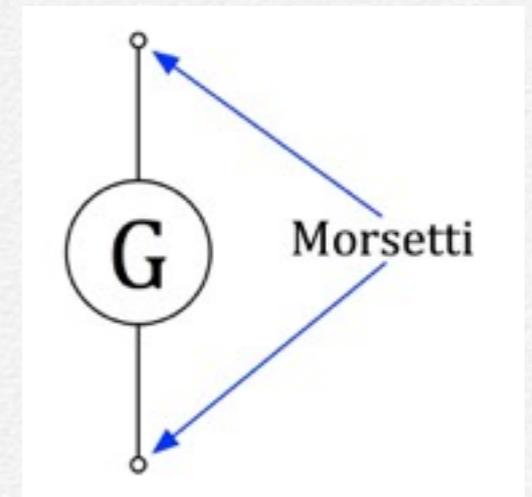
A questo punto si deve chiarire un aspetto fondamentale di tutti i circuiti elettrici:

le cariche si muovono solo se il circuito è chiuso

cioè le cariche devono potersi muovere liberamente dal potenziale maggiore (morsetto del generatore a energia maggiore) al potenziale inferiore (a energia inferiore). Nel caso in cui ci dovessero essere delle interruzioni la carica non si muove in nessun tratto del circuito. Questi discorsi validi nell'ambito dell'argomento che si sta trattando verranno ampliati, riveduti e in parte corretti quando si tratterà della capacità elettrica.

La logica conseguenza di questo vincolo è che i collegamenti nel circuito possono essere volontariamente interrotti allo scopo di non far funzionare più l'utilizzatore. Il dispositivo di comando è un componente che ha effettivamente lo scopo di interrompere quando occorre il flusso di corrente nel circuito. Nella sua forma più semplice è composto da un contatto metallico che si può aprire e

chiudere meccanicamente. Ovviamente la chiusura del contatto comporta il passaggio della corrente.



Il generatore

Sicuramente in questa prima fase di studio del mondo elettrico, l'unico dispositivo non passivo - nel senso che non subisce il passaggio della corrente elettrica ma lo provoca - è il generatore; nelle situazioni più semplici presenta due morsetti metallici (conduttori) attraverso i quali transitano le cariche elettriche. L'immagine a fianco rappresenta un simbolo generico di generatore, altri simboli verranno presentati più avanti.

Poiché lo sviluppo di un lavoro elettrico richiede che ci sia un movimento di cariche è necessario che ci sia una tensione tra i suoi morsetti e che essi siano tra loro collegati attraverso un circuito (chiuso).

La ddp deve essere almeno uguale alla tensione di funzionamento dell'utilizzatore, questo garantisce l'energia sufficiente alle cariche per produrre lavoro all'interno dell'utilizzatore. Il tutto può essere riassunto con una semplice frase:

Se un generatore collegato ad un circuito chiuso presenta ai suoi capi una tensione si avrà corrente nel circuito.

Questo richiede la massima attenzione nel maneggiare i generatori, l'energia che un generatore è in grado di fornire (presente ai suoi morsetti) può risultare pericolosa per le persone e creare danni all'impianto.

La corrente che esce deve rientrare (concetto già introdotto ma di grande importanza)

Le cariche si spostano perché "trovano" la possibilità di diminuire la loro energia, questa opportunità gli è fornita dal generatore il quale presenta un morsetto ad alto potenziale (alta energia) e un morsetto a basso potenziale.

Il movimento delle cariche è quindi obbligato: dal morsetto a potenziale maggiore attraverso il circuito devono raggiungere il morsetto a potenziale minore; in termini di corrente si conclude che tanta corrente esce da un morsetto del generatore e tanta corrente (la stessa) deve entrare nell'altro morsetto.

Caratteristiche di un generatore

In qualità di macchina elettrica, che lavora tra l'altro ac-

Tensione alternata sinusoidale

Si rappresenta con la sigla CA (Corrente Alternata) o con la sigla AC (Alternating Current)

Il modo migliore per sottolineare l'importanza di questa tensione è dichiarare fin da subito la supremazia, nell'uso dell'energia, della tensione alternata sinusoidale su tutte le altre forme di tensione.

Ad esclusione di pochi casi, ad esempio le batterie o le celle fotovoltaiche (i pannelli solari tanto per intenderci) che forniscono una tensione continua, l'energia elettrica generata (si ricorda che generata si intende trasformata dal generatore!!) ha un potenziale alternato sinusoidale. In termini quantitativi se dovessimo ipotizzare una percentuale di energia prodotta e usata attraverso una tensione alternata si potrebbe indicare un valore intorno al

99%, è un valore puramente indicativo in quanto non si hanno i dati ufficiali ma poco lontano dalla realtà.

Il motivo di questa scelta è da ricercare nei vantaggi che la tensione alternata sinusoidale offre nella produzione, nel trasporto e nell'utilizzazione dell'energia.

SIMBOLO 1 Simbolo della tensione alternata sinusoidale



Un potenziale che continua a cambiare

Dire che ai capi di un generatore si ha una tensione alternata significa affermare che la differenza di potenziale sui

morsetti del generatore non rimane costante ma continua a cambiare nel tempo. Prendendo uno dei due morsetti del generatore come potenziale di riferimento, il potenziale sull'altro morsetto si alterna tra valori positivi e valori negativi in maniera periodica seguendo un andamento chiamato sinusoidale rappresentato nella [Figura 3.1](#). La sua forma caratterizza il simbolo che la rappresenta come mostrato in [Simbolo 1](#).

La forma sinusoidale è caratterizzata, tra le altre cose, da fatto che la parte positiva è esattamente uguale alla parte negativa; poi-

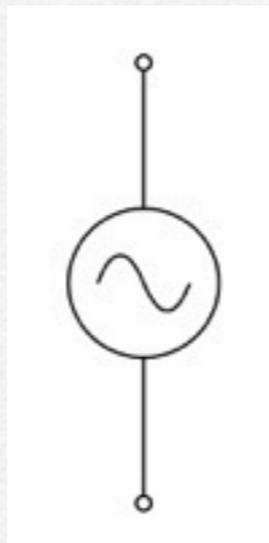
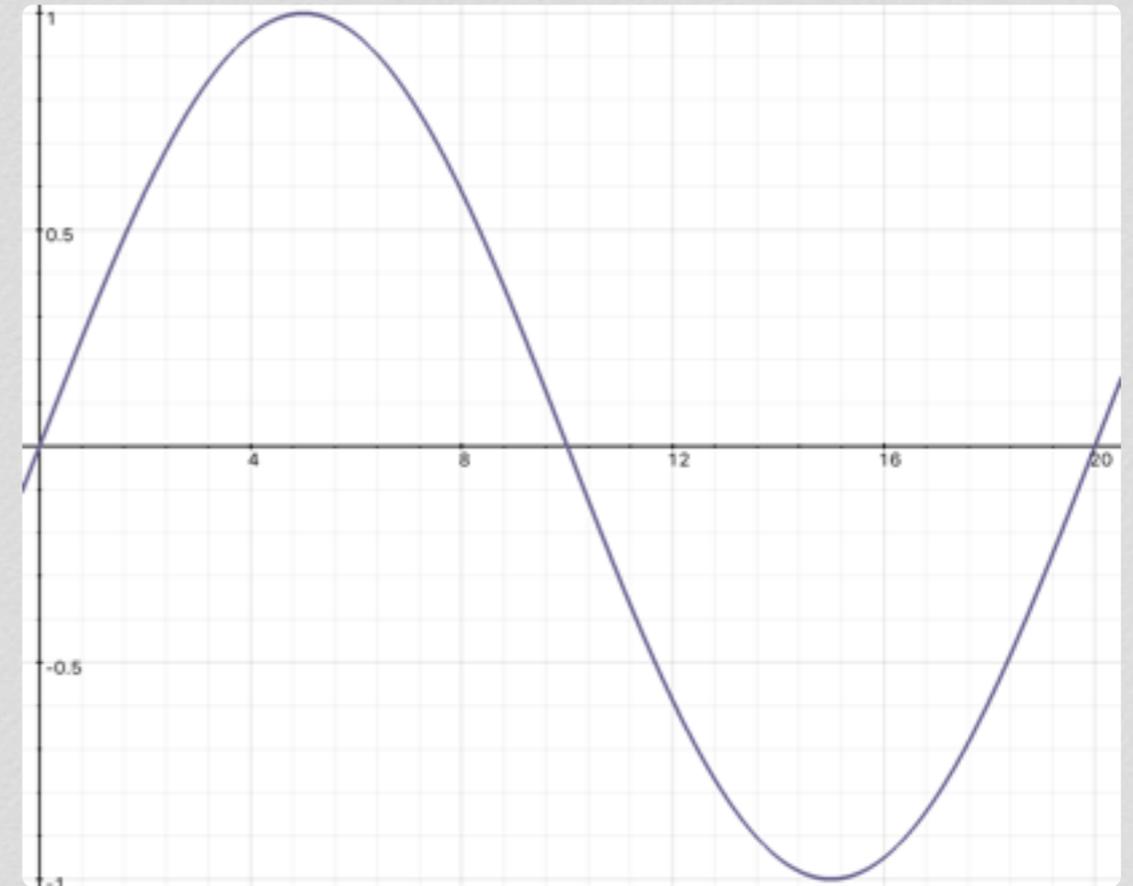


FIGURA 3.1 La Tensione alternata sinusoidale



Esempio di sinusoide, i valori sugli assi al momento non sono significativi, ciò che importa è l'andamento, la forma

ché nel suo complesso la sinusoide viene chiamata onda le due metà vengono chiamate rispettivamente semi-onda positiva e semi-onda negativa.

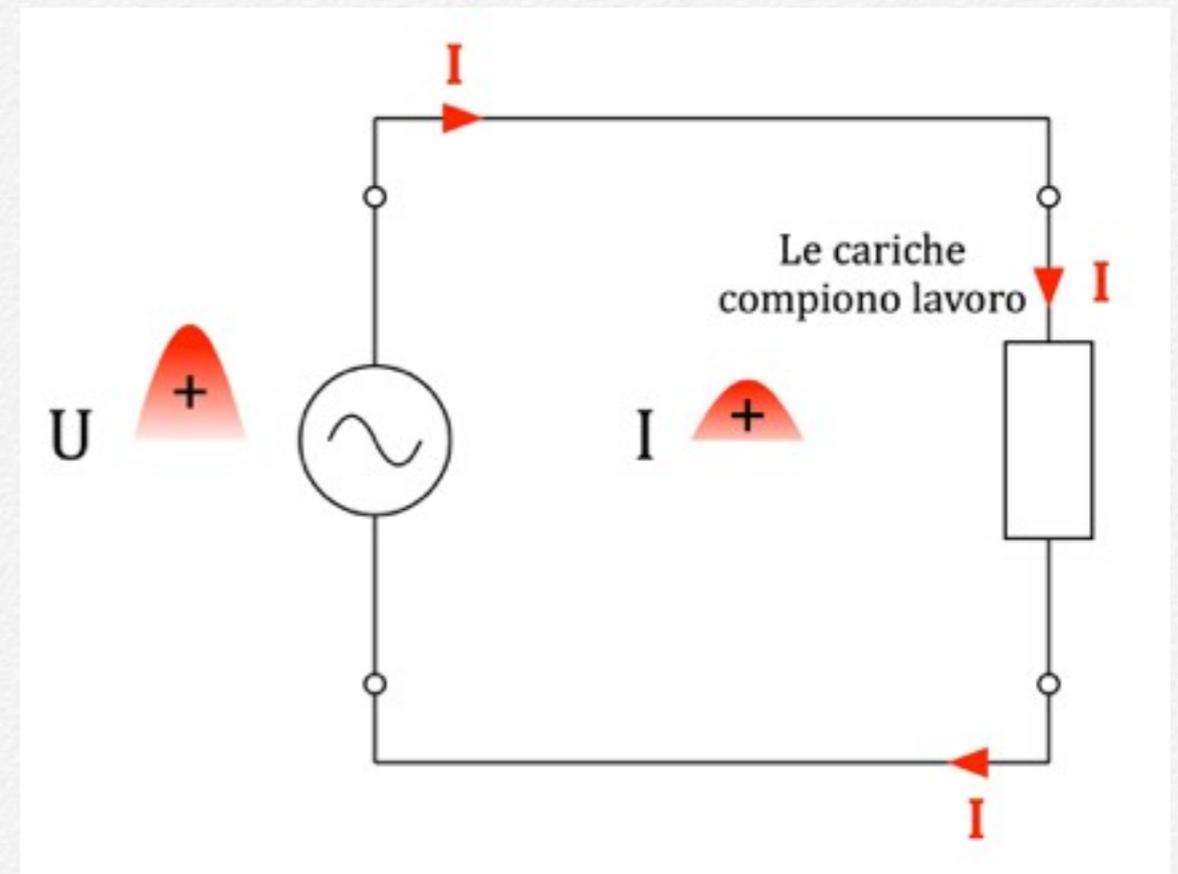
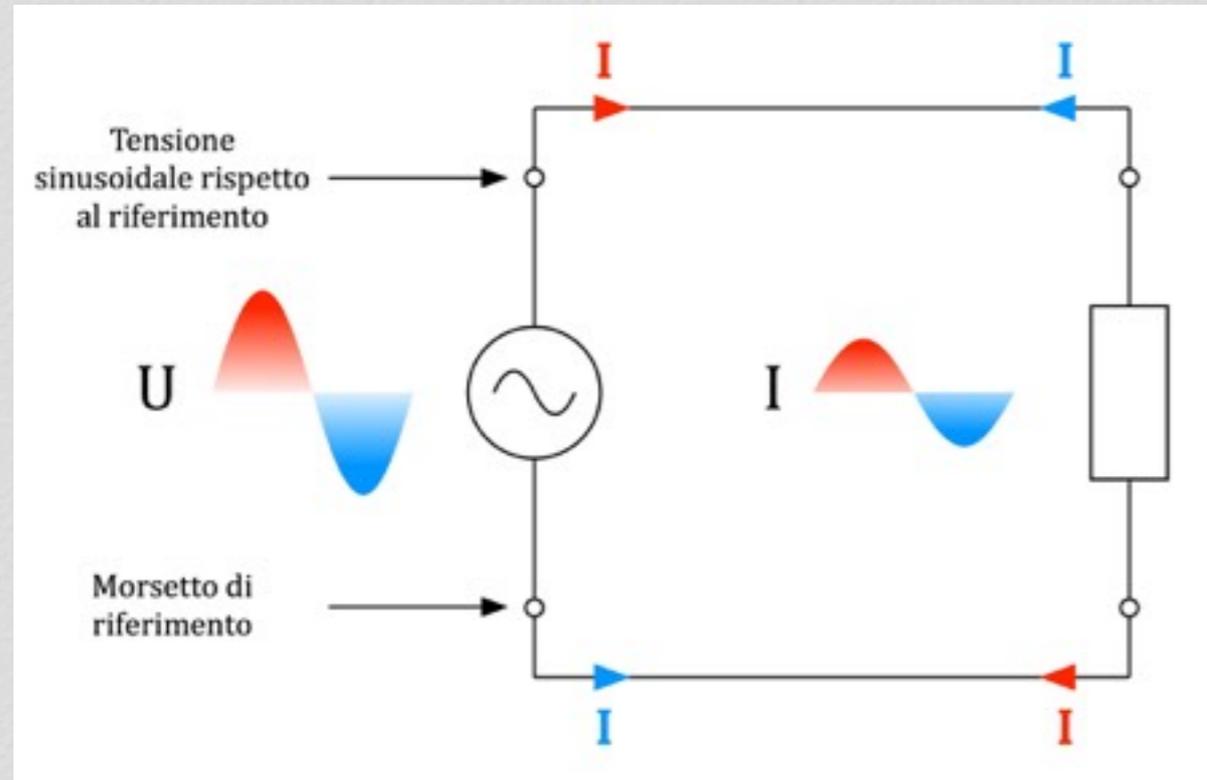
Il simbolo del generatore di tensione alternata sinusoidale è rappresentato qui a fianco.

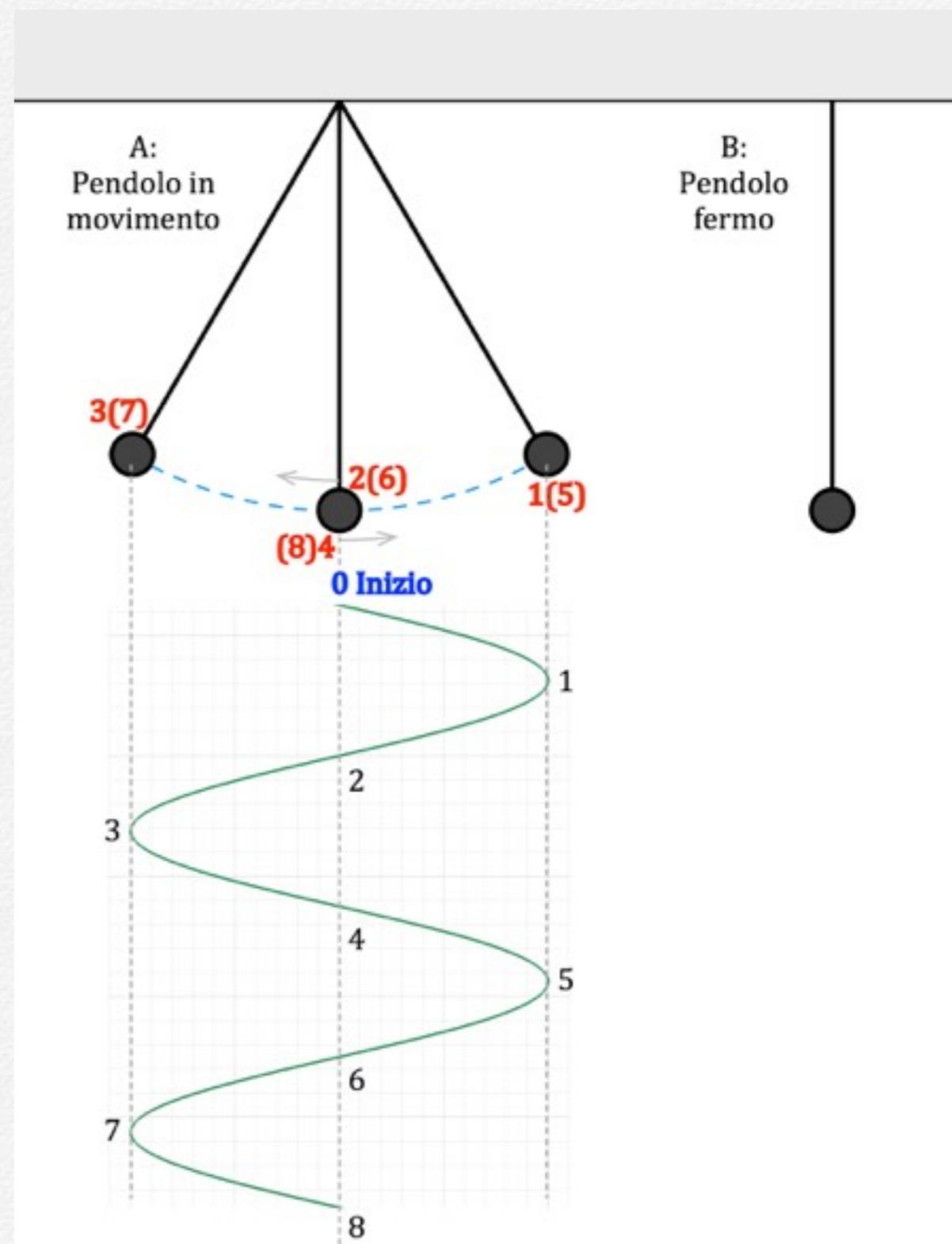
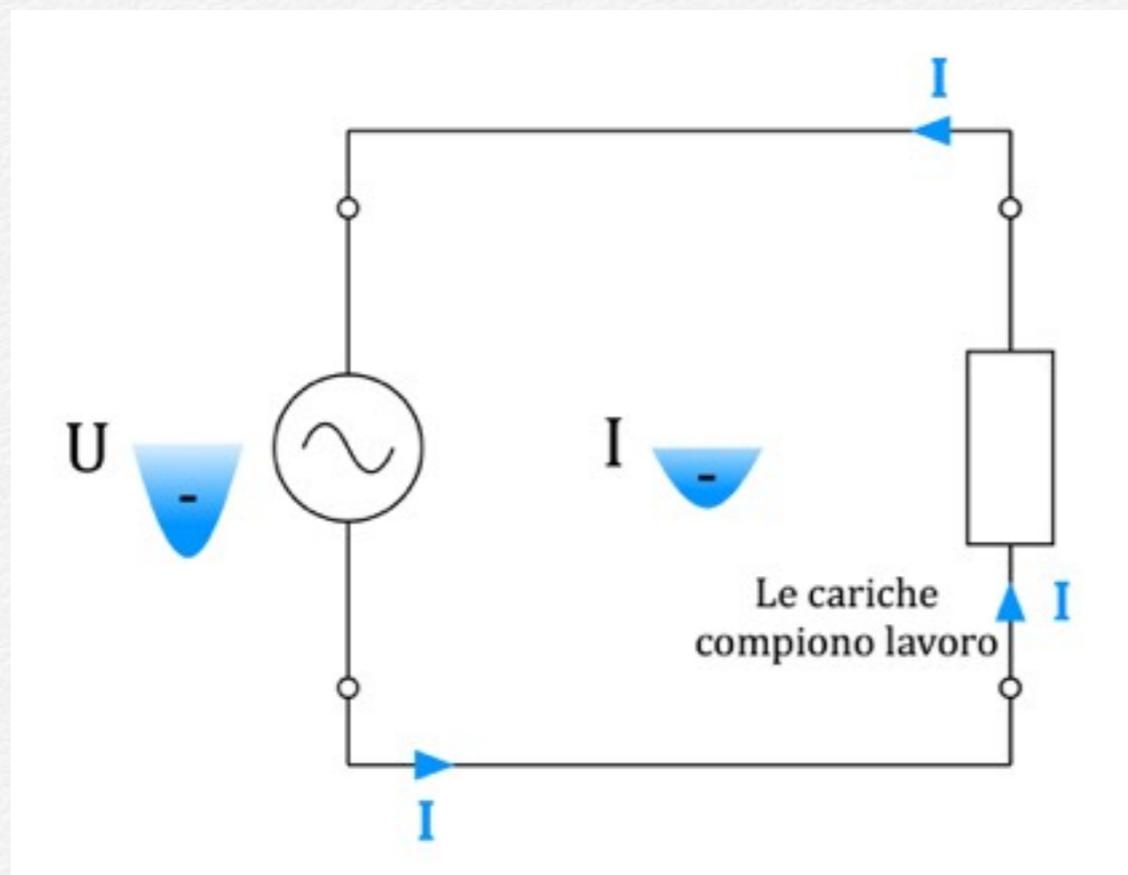
Questo andamento che porta le cariche ad avere continue variazioni del loro livello di energia può essere paragonato al movimento di una persona sull'altalena – in realtà questo esempio non permette di fare un parallelismo completo ma comunque può aiutare lo studio della tensione alternata –. La posizione della persona continua a cambiare in maniera periodica, più precisamente rispetto ad una persona che è ferma in piedi al centro dell'altalena, si può trovare più avanti (+) o più indietro (-) ma indipendentemente da dove si trovi ha sicuramente più energia della persona ferma al centro.

Nella pagina a fianco viene riportata l'immagine di un esempio simile dove per semplicità si è sostituita l'altalena con il pendolo; nella figura B si vede un pendolo fermo che si può considerare il riferimento mentre nella figura A è riportato l'andamento di un pendolo. I numeri scritti in rosso rappresentano la posizione del pendolo durante il suo movimento mentre quelli scritto in nero indicano la rappresentazione dei punti sul grafico che ne

deriva. La forma che si ottiene è detta appunto sinusoidale.

FIGURA 3.2 Tensione sinusoidale in un circuito





La corrente in presenza di un potenziale sinusoidale

Si ritorna dopo questi esempi all'idea da cui si è partiti: se il morsetto di un generatore ha un potenziale alternato sinusoidale significa che il suo valore continua a cambiare nel tempo rispetto al riferimento (che per definizione ha potenziale $U=0V$). La corrente elettrica, nella situazione più semplice, è anch'essa alternata sinusoidale - questo significa che assume valori positivi e valori negativi e il suo andamento è sinusoidale -, affermare che la

FIGURA 3.3 Lampadina alimentata da una tensione alternata "lenta".

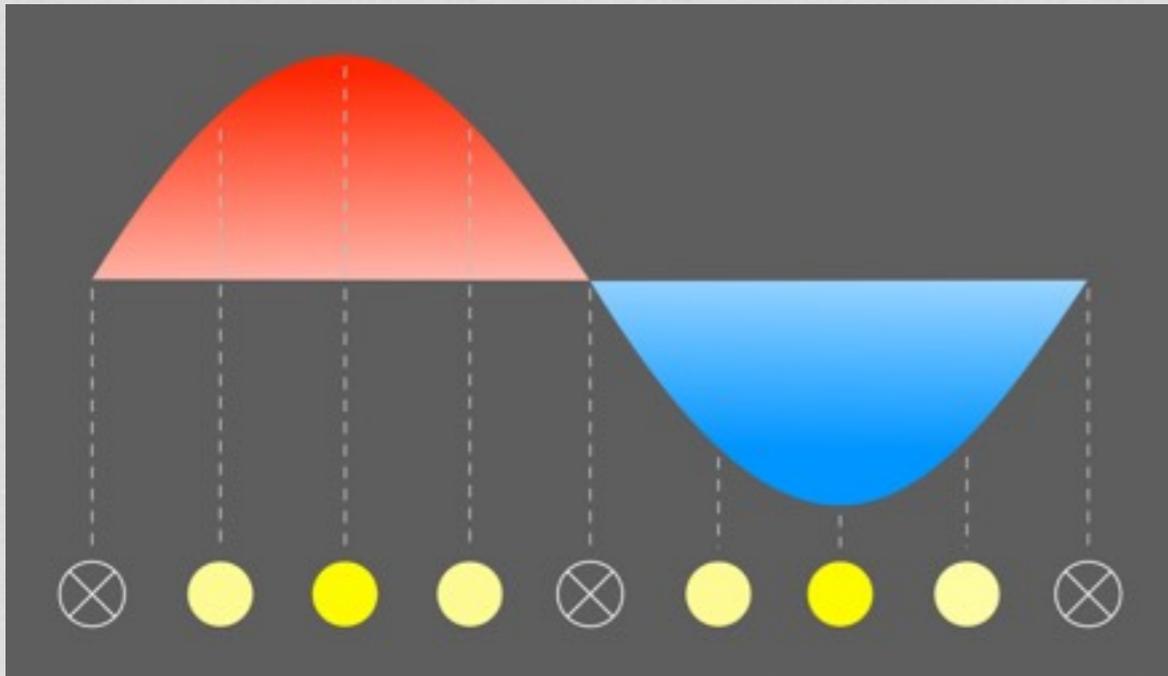
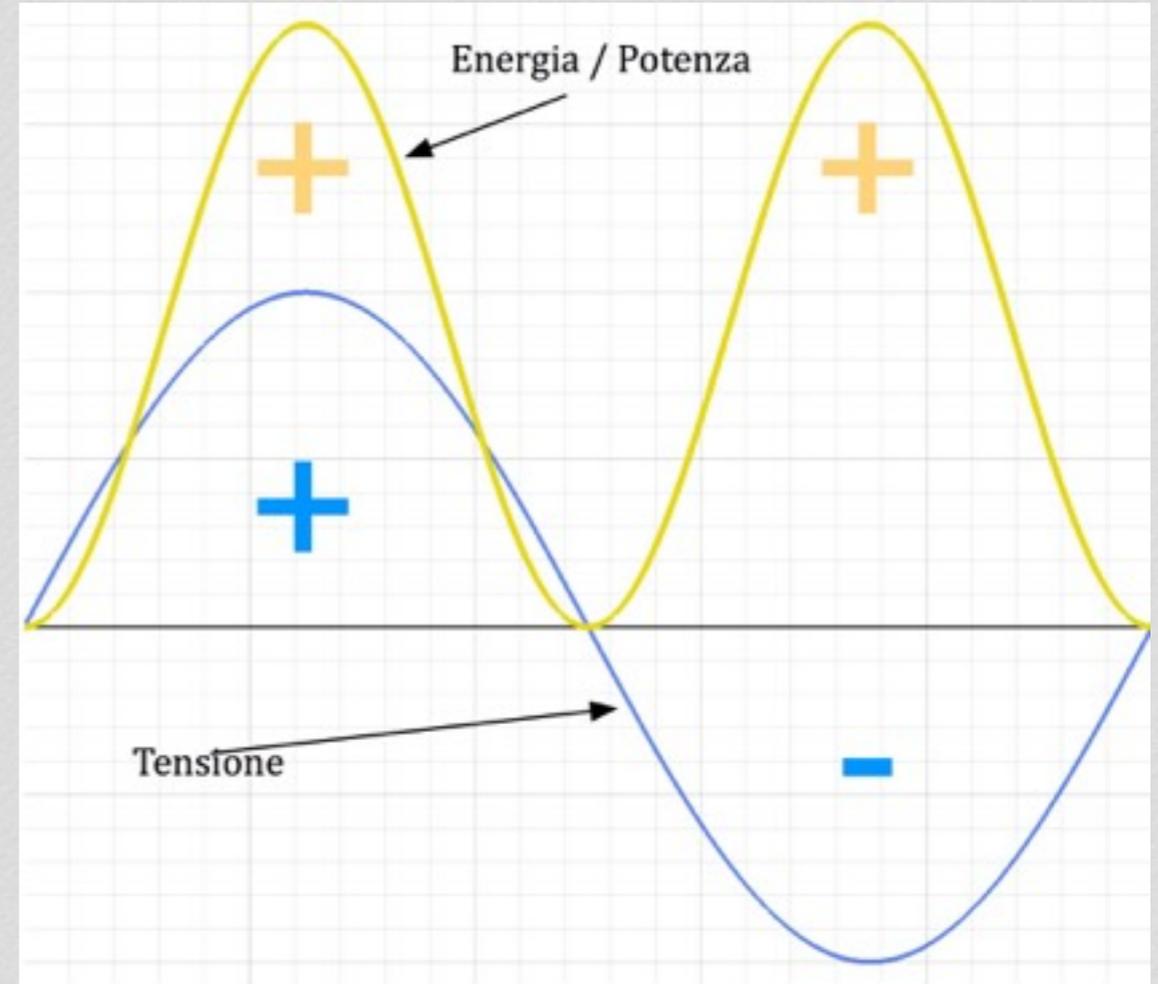


FIGURA 3.4 Andamento della potenza con una tensione sinusoidale



corrente è negativa significa semplicemente che si muove nel senso opposto rispetto a quello convenzionalmente scelto.

Quando la semi-onda è positiva il morsetto di riferimento si trova a potenziale inferiore le cariche si spostano ver-

so di esso mente quando la semi-onda è negativa il morsetto di riferimento è a potenziale superiore, quindi le cariche si muovono verso l'altro morsetto (escono da quello di riferimento).

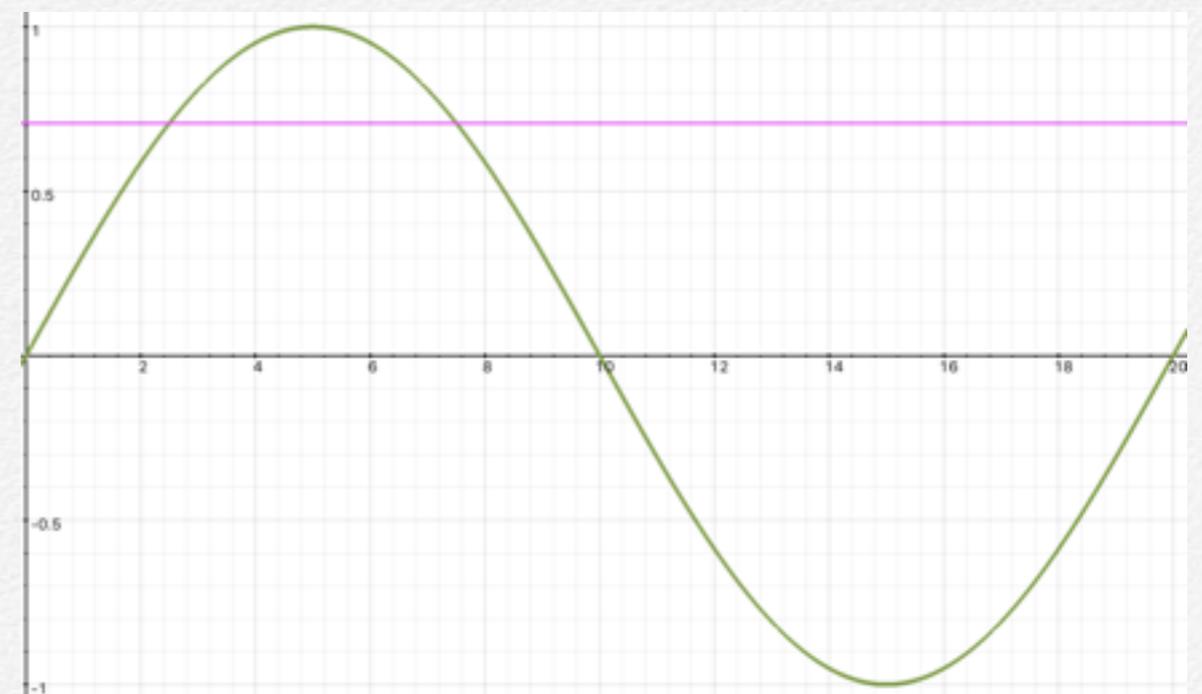
Nella [Figura 3.2](#) si può vedere come durante la semi-onda positiva (rossa) la cariche si muovono verso il riferimento che si trova a potenziale inferiore, per facilità è stata anche questa corrente rappresentata in rosso. Durante la semi-onda negativa (blu) la corrente si muove in senso opposto, per questo motivo si dice che è negativa (corrente di colore blu).

Lavoro di una corrente alternata

La corrente alternata ha quindi valori sia positivi che negativi, ma se si è compreso che avere una corrente negativa significa che le cariche si muovono in direzione opposta alla precedente (il termine alternata sta a significare proprio questo) dovrebbe essere anche possibile comprendere che da un punto di vista del lavoro fatto dalle cariche non cambia nulla.

Per capire meglio ci si aiuta con l'ausilio di due immagini. La prima delle due mostra, sul morsetto in esame, la

presenza di un potenziale maggiore (positivo) rispetto al riferimento, le cariche che hanno energia maggiore lasciano il morsetto per attraversare l'utilizzatore, compiere lavoro e raggiungere il morsetto di riferimento. La seconda immagine anche se tratta della semi-onda negativa porta alla stessa conclusione: a causa del potenziale negativo rispetto al riferimento le cariche invertono il loro senso di marcia ma attraversano comunque l'utilizzatore



compiendo lavoro e cedendo energia. All'utilizzatore (per quelli funzionanti in tensione alternata) non importa in che direzione si spostano le cariche ma interessa solo che gli cedano energia.

Poiché le due semi-onde sono uguali, il lavoro fatto dalle cariche durante la fase a corrente negativa è uguale al lavoro fatto dalle cariche durante la fase a corrente positiva.

Efficacia di una tensione alternata sinusoidale

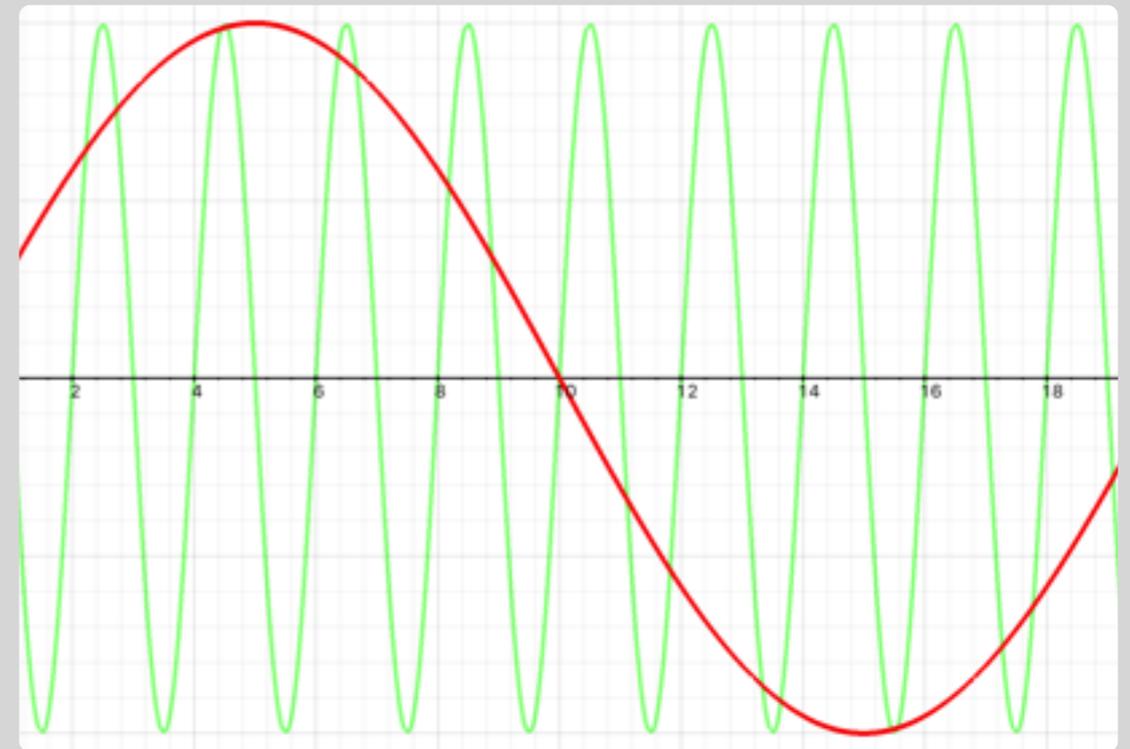
La sintesi del paragrafo precedente è che il lavoro fatto dalle cariche, e quindi anche la potenza con la quale viene svolto, non dipende dalla direzione del movimento con il quale le cariche attraversano il circuito. Questo risolve i problemi legati all'alternanza tra valori positivi e negativi della tensione. Quel che manca da capire è cosa comporta dal punto di vista energetico avere la tensione con un andamento sinusoidale. Due sono le riflessioni da fare:

- le cariche che hanno un potenziale maggiore trasportano più energia (istantanea), quindi facendo riferimento alla [Figura 3.1](#) le cariche che si muovono quando il potenziale è circa 0V cioè all'inizio dell'onda, a metà e alla fine trasportano un'energia quasi nulla mentre le cariche che si muovono quando il potenziale è al valore

massimo o minimo trasportano il massimo valore di energia (il lavoro che svolgono è il massimo).

- Il numero di cariche che partecipano alla formazione della corrente aumenta all'aumentare del potenziale

GALLERIA 3.3 Sinusoidi a periodi differenti



La sinusoida di colore rosso ha un periodo di 20sec mentre quella di colore verde ha un periodo di 2sec

• •

L'energia totale trasportata nell'unità di tempo cioè la potenza non è la stessa, ci si può far aiutare da un semplice esempio:

Immaginando di avere una lampadina che è collegata ad una tensione alternata si cerca di capire cosa come potrebbe comportarsi (ci si può confrontare con la figura). All'inizio dell'onda la lampadina è spenta, la sua lumi-

La frequenza di 1Hz corrisponde a una ripetizione al secondo. 1MHz corrisponde a 1000000 di

nosità andrà ad aumentare fino a raggiungere il valore massimo al picco della sinusoide poi comincerà ad attenuarsi fino a spegnersi. Durante la semi-onda negativa la lampadina da spenta vedrà la sua intensità aumentare, raggiungerà il valore massimo al picco negativo della tensione e per attenuarsi fino a spegnersi.

Da quanto detto in precedenza e dall'esempio emergono due fatti importanti:

- l'energia istantanea sarà sempre positiva, cioè le cariche cedono sempre energia all'utilizzatore

- anche l'energia istantanea ha un andamento che ricorda molto una sinusoide (ognuno poi sarà libero di capire se la curva è ancora una sinusoide o no, ma questo è un problema matematico!!)

In [Figura 3.4](#) si può vedere l'andamento dell'energia istantanea (colore giallo) al variare del potenziale (blu), i valori massimi sono casuali quindi non hanno alcuna relazione tra loro, al contrario è fondamentale osservare il segno del potenziale e dell'energia.

Valore efficace della tensione sinusoidale

Anche se la definizione corretta verrà data più avanti possiamo introdurre il concetto di valore efficace di un potenziale sinusoidale: ci sono cariche che trasportano più energia e cariche che ne trasportano meno, si può individuare il valore medio dell'energia trasportata pensando per comodità che tutte le cariche trasportino il medesimo contributo di energia, cioè come se tutte avessero un medesimo potenziale iniziale, questo possiamo considerarlo come potenziale efficace, si indica generalmente con la lettera U.

Ovviamente questo potenziale non è il massimo poten-

La tensione negli impianti civili

Mentre la tensione con la quale si fornisce energia agli impianti industriali è alternata sinusoidale trifase 230V/400V (argomento che verrà affrontato e approfondito quando ci saranno le condizioni opportune) negli impianti civili in Italia (e in quasi tutta l'Europa) si ha una tensione alternata sinusoidale con valore efficace $U=230V$ e frequenza 50Hz.

Con questa tensione efficace, la sinusoide avrà valori massimi di

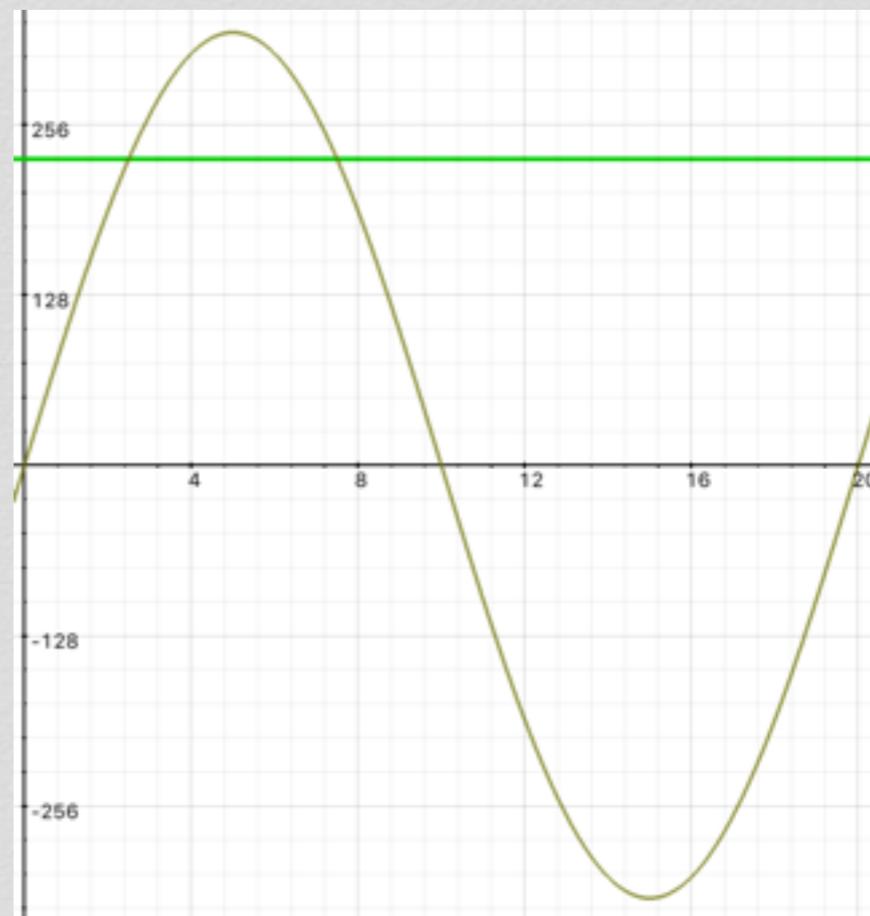
$$U_M = 140\% \cdot U = \frac{140}{100} \cdot 230V = 322V$$

e valori minimi di

$$U_m = -140\% \cdot U = -\frac{140}{100} \cdot 230V = -322V$$

Il periodo di ripetizione dell'onda, cioè il tempo che impiega la tensione a compiere un'oscillazione completa risul-

FIGURA 3.5 Tensione alternata sinusoidale $U=230V$, $f=50Hz$



L'asse x rappresenta il tempo con unità di misura i msec (millisecondi), con questa unità si osserva che il periodo vale esattamente 20msec. L'asse y rappresenta la tensione misurata in V, il suo valore massimo raggiunge circa 322V mentre il suo valore efficace è rappresentato dalla linea verde (230V)

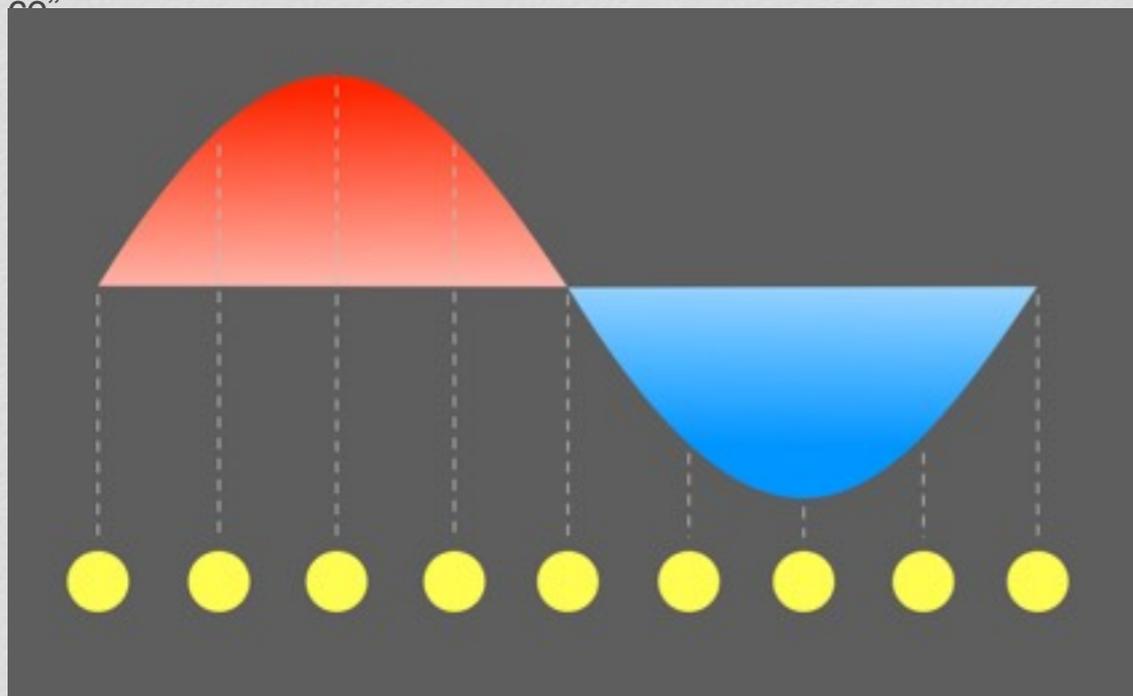
ta:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 0,02\text{sec} = 20\text{msec}$$

Con questa frequenza e di conseguenza questo periodo l'alternanza della corrente elettrica è molto veloce. Se si collega quindi ad un potenziale del genere una lampadina, si può ripensare al fenomeno descritto nella [Figura 3.3](#): a causa dell'elevata velocità



FIGURA 3.6 Lampadina alimentata da una tensione alternata "veloce"



della tensione non si osserva lo spegnimento della lampadina come mostrato in [Figura 3.6](#).

La lampadina non si riesce a spegnersi (o comunque l'occhio umano non riesce a notarlo) ma non è in grado di produrre la stessa luminosità prodotta nei momenti di in cui la tensione raggiunge il suo valore massimo, risulta leggermente attenuata.

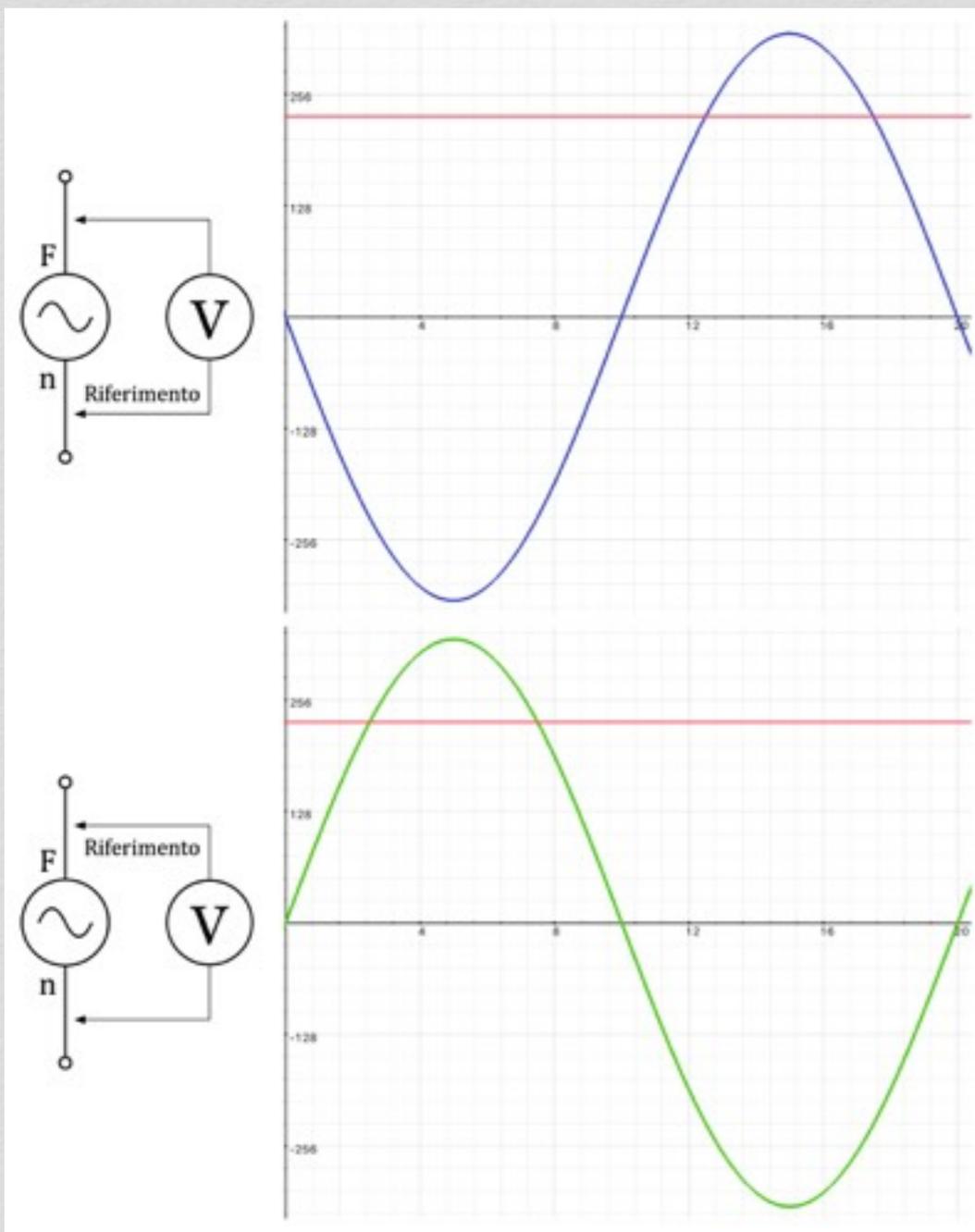
Questo discorso si applica a tutti gli utilizzatori; per un motivo o per l'altro, dipendentemente dal fenomeno naturale che sfruttano o dai limiti della nostra percezione, l'alternanza della tensione sinusoidale con $f=50\text{Hz}$ non provoca fenomeni di accensione/spegnimento dell'utilizzatore stesso.

I cavi di alimentazione negli impianti civili

Negli impianti civili si hanno fondamentalmente 3 di alimentazione, per chi ha già le idee più chiare si tratta in realtà di 2 cavi + il P_E . Ciò che importa in questo momento è chiarire quali sono i potenziali presenti su questi tre cavi lasciando ad un successivo approfondimento il compito di chiarire il motivo dei tre cavi e la loro funzione.

Grazie al fatto che la tensione è alternata si ha una perfetta simmetria tra i due morsetti del generatore, infatti

FIGURA 3.7 Tensione Fase-Neutro



Nella parte superiore si osserva la tensione della fase prendendo come riferimento il morsetto del neutro. Nella parte inferiore si osserva la tensione sul neutro prendendo come riferimento la fase

dal punto di vista dell'utilizzatore l'inversione nel collegamento dei morsetti (inversione tra fase e neutro) non provoca alcun problema al suo funzionamento.

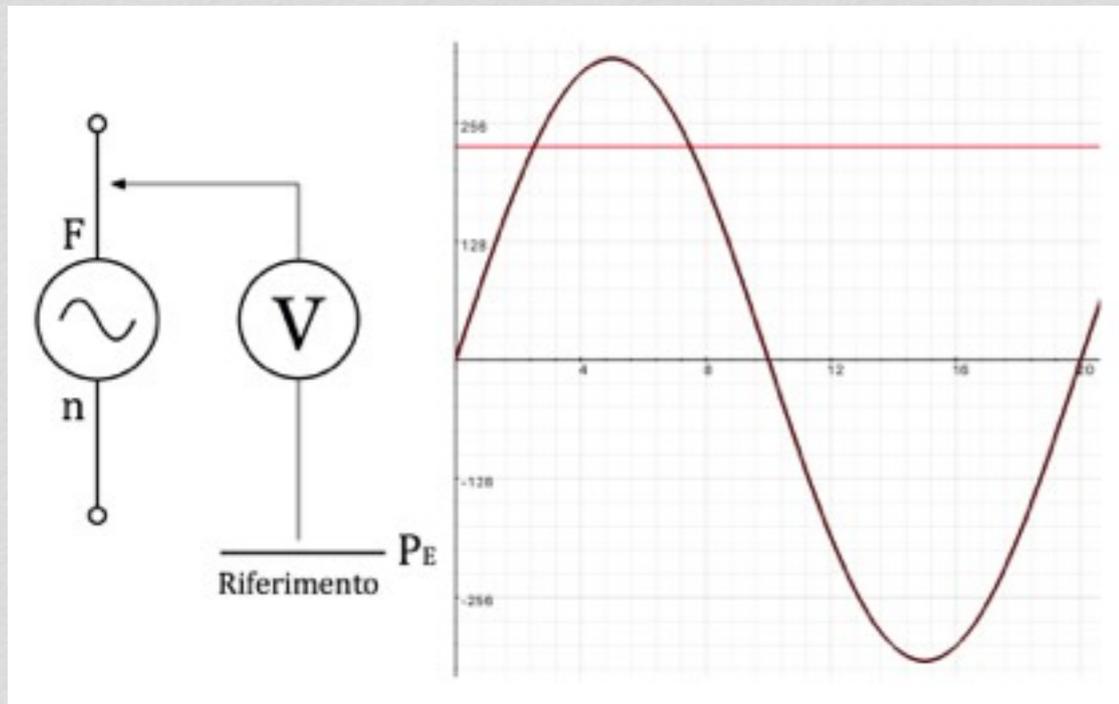
Nell'immagine di [Figura 3.7](#) si nota che il potenziale della fase quando si prende come riferimento il neutro e il potenziale del neutro quando si prende come riferimento la fase sono praticamente opposti ma individuano lo stesso valore efficace, si possono cioè invertire (punto di vista dell'utilizzatore).

Nella realizzazione dell'impianto invece i due morsetti del generatore hanno un ruolo ben definito e non possono essere "confusi" tanto è vero che si utilizzano cavi con guaine di colore differente. Per questo motivo di parla di di:

- conduttore di fase o semplicemente **fase**
- conduttore di neutro o semplicemente **neutro**
- collegamento di **P_E**.

Fase e neutro hanno lo scopo di trasportare la corrente nel circuito mentre il P_E ha lo scopo di collegare ad un unico potenziale (che per comodità si chiamerà di terra) tutte quelle strutture metalliche non direttamente interessate al passaggio della corrente.

FIGURA 3.8 Tensione tra fase e P_E

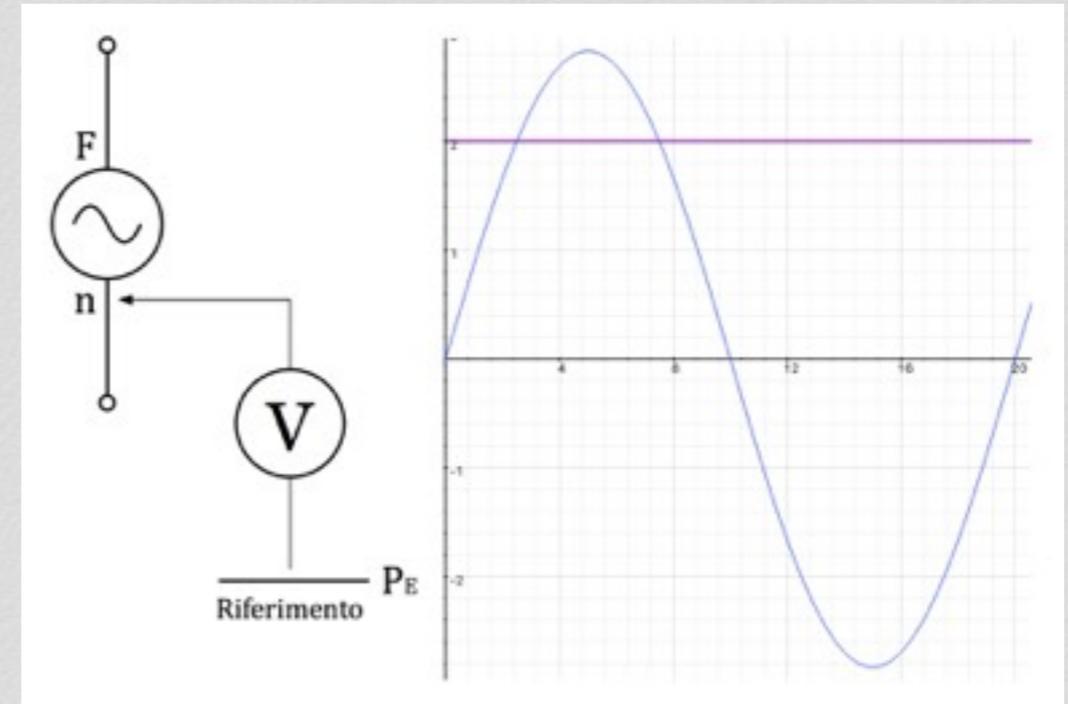


La tensione tra fase e P_E è alternata sinusoidale, il suo valore efficace è circa 230V.

Ruolo del P_E

Tutti i conduttori metallici delle apparecchiature che utilizzano l'energia elettrica (lavatrici, elettrodomestici in genere ecc) sono collegati al potenziale di terra (P_E) di conseguenza poiché le persone sono in continuo contatto con queste apparecchiature si può ritenere che il potenziale del P_E è anche il potenziale elettrico con il quale gli utenti (le persone) vengono in contatto (l'unico potenzia-

FIGURA 3.9 Tensione tra Neutro e P_E



La tensione tra neutro e P_E è alternata sinusoidale, il suo valore efficace è circa 2V.

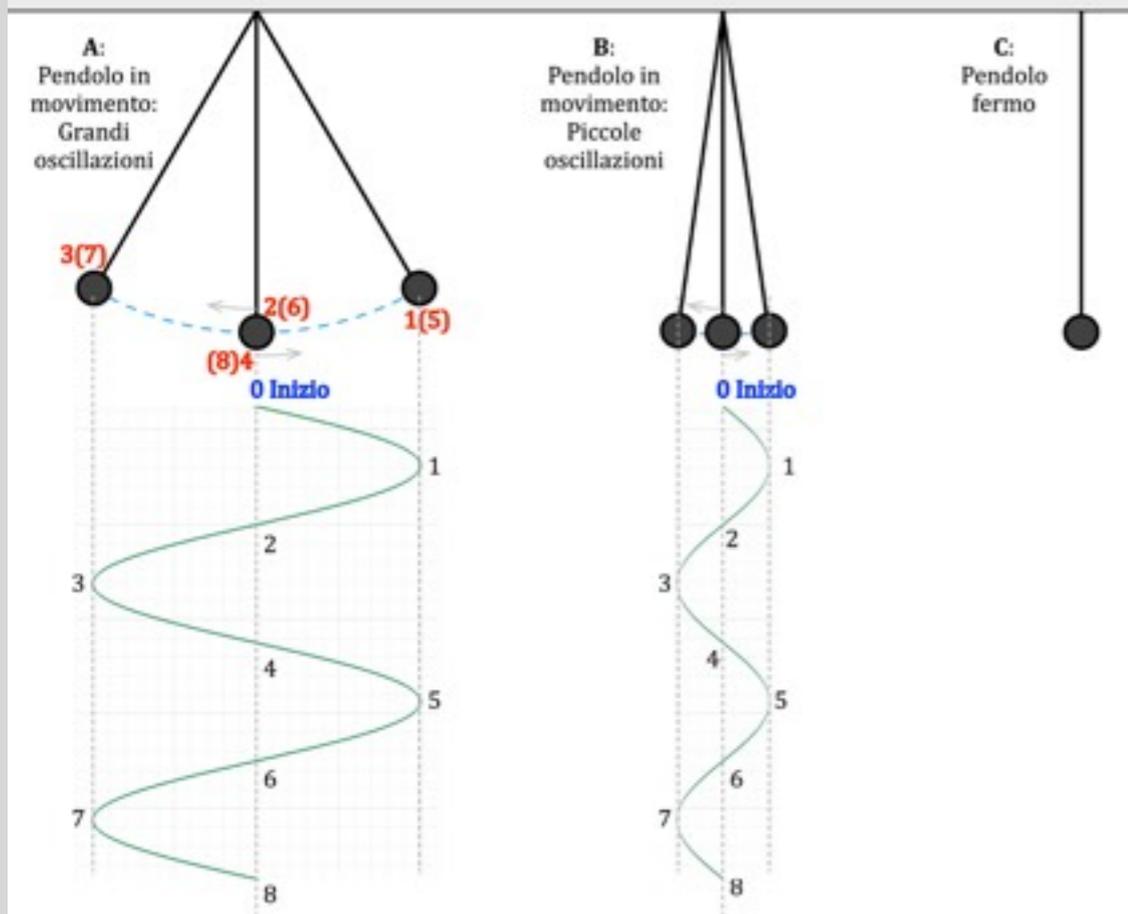
le). Per questo motivo il potenziale di riferimento degli impianti non è la fase o neutro ma il potenziale di terra.

Misurando la tensione tra Fase- P_E si ottiene sempre una sinusoide di valore $U \approx 230V$ come mostrato in [Figura 3.8](#).

Diversamente misurando la tensione tra neutro- P_E si ottiene una tensione sinusoidale di pochi volt ($\approx 0V$), in [Fi-](#)

Figura 3.9 è stata ipotizzata un valore efficace di circa $U=2V$.

FIGURA 3.10 Esempio del pendolo che oscilla

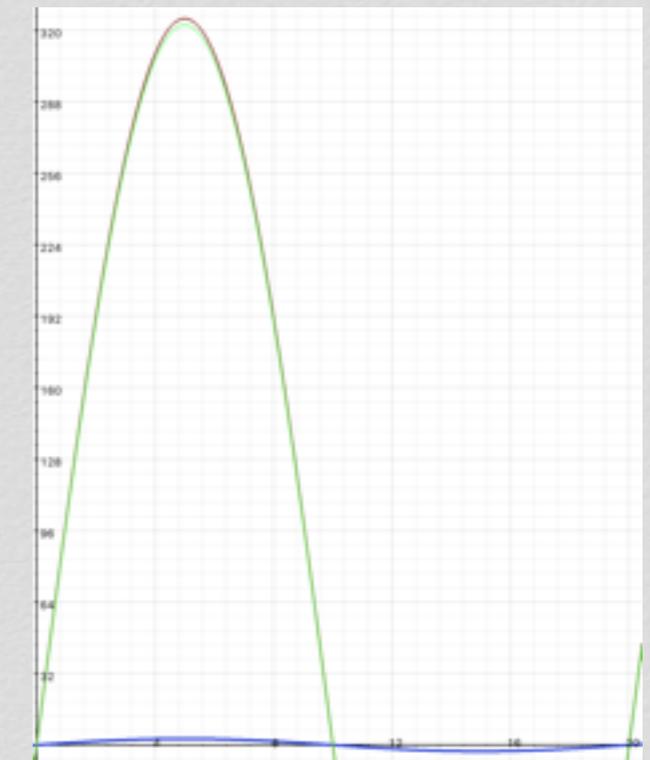


Usando come riferimento il P_E , che coincide con il punto di vista dell'utilizzatore, la fase è un conduttore ad un potenziale più alto (230V) mentre il neutro è un conduttore

a potenziale molto basso, quasi 0V. L'inversione tra fase e neutro per la persona che vive nell'appartamento comporta una differenza enorme. In questo senso la fase è il conduttore a potenziale maggiore.

Per evidenziare questa relazione tra i vari potenziali si può riprendere il paragone proposto nella prima sezione di questo capitolo con un pendolo che oscilla. In questo caso si può paragonare il conduttore di P_E con un pendolo fermo (non oscilla e non presenta energia), il conduttore di fase con un pendolo che oscilla con grandi ampiezze (grandi oscillazioni e grande energia) e il neutro con un pendolo con piccole (piccolissime) oscillazioni come mostrato in Figura 3.10. Da questo esempio risulta evidente che rispetto al pendolo fermo (il caso C) il pendolo che com-

FIGURA 3.11 ddp tra fase e neutro U_F-U_N



Tensione continua

Si rappresenta con la sigla **CC** (Corrente Continua) o con la sigla **DC** (Direct Current)

La maggior parte dell'energia elettrica viene utilizzata con un potenziale alternato sinusoidale, solo una piccola parte dell'energia viene utilizzata con un potenziale costante.

La tensione continua viene prodotta quasi esclusivamente da due generatori: le celle fotovoltaiche, e le pile (o batterie). Per le batterie l'energia prodotta è messa a disposizione di quegli utilizzatori che funzionano con un potenziale costante (batterie per orologi, telecomandi ecc); per il fotovoltaico si ha un discorso simile nel caso di piccole celle fotovoltaiche (calcolatrici, piccoli carica-batterie solari ecc.) mentre per i pannelli fotovoltaici

GALLERIA 3.4 Generatori elettrici a tensione continua

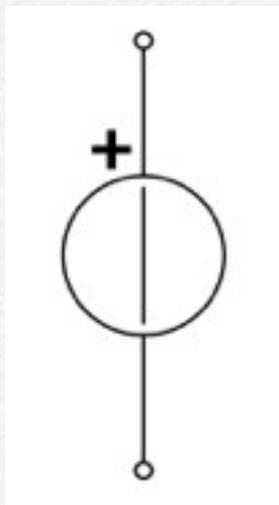


Batteria da 4,5V.

l'energia prodotta viene convertita da potenziale continuo a potenziale alternato sinusoidale.

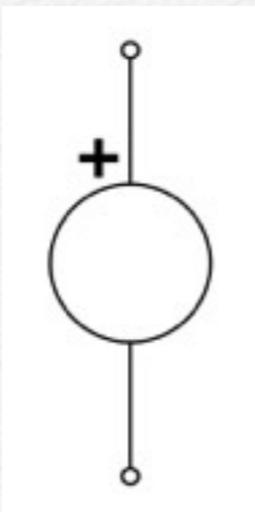
Nonostante una limitata produzione di energia a tensione continua il suo utilizzo è molto più diffuso e in aumento, tutte le apparecchiature elettroniche (telefonini, com-

puter, televisori, elettrodomestici, condizionatori, ecc.) necessitano di una tensione continua, spesso questa energia è ricavata dalla tensione alternata sinusoidale attraverso quei componenti che si chiamano alimentatori.



La polarità della tensione continua

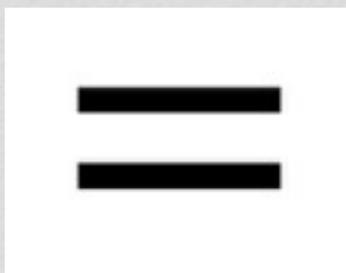
Come si è visto in uno dei precedenti capitoli la tensione sinusoidale è alternata, questo rende equivalenti i due morsetti del generatore (invertendo il collegamento del generatore il circuito funziona correttamente).



Al contrario un generatore di tensione continua ha i due morsetti ben definiti e distinti,

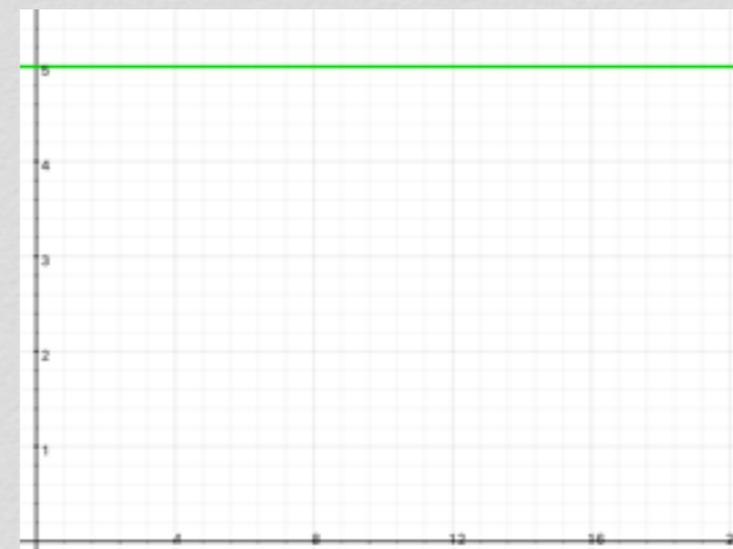
in particolare un morsetto è fisso ad un potenziale maggiore (+) mentre l'altro morsetto è fisso ad un potenziale inferiore (-). Il simbolo del generatore di tensione continua (nelle immagini qui sopra ne vengono proposti 2 che ver-

SIMBOLO 2 Simbolo Continua



ranno considerati equivalenti) mette in evidenza questa differenza tra i due morsetti. Ovviamente anche gli utilizzatori devono essere adatti all'uso in tensione continua e l'inversione della polarità del generatore potrebbe pro-

FIGURA 3.12 Tensione Continua (asse y) al variare del tempo (x)



La differenza con la tensione alternata è evidente: la tensione continua rimane costante nel tempo (linea verde all'altezza dei 5V).

vocare un danno dei componenti stessi (utilizzatori).

La [Figura 3.12](#) riporta l'andamento al variare del tempo per il potenziale in tensione continua (risulta costante nel tempo). Questo andamento caratteristico è stilizzato

A glowing orange coiled spring, likely a resistor, is shown against a blue background. The spring is coiled and has a bright orange glow, suggesting it is heated or glowing. It is connected to a black wire that runs vertically down the center of the image. The background is a solid blue color with a subtle gradient.

4

**I sistemi
reali, la
resistenza**

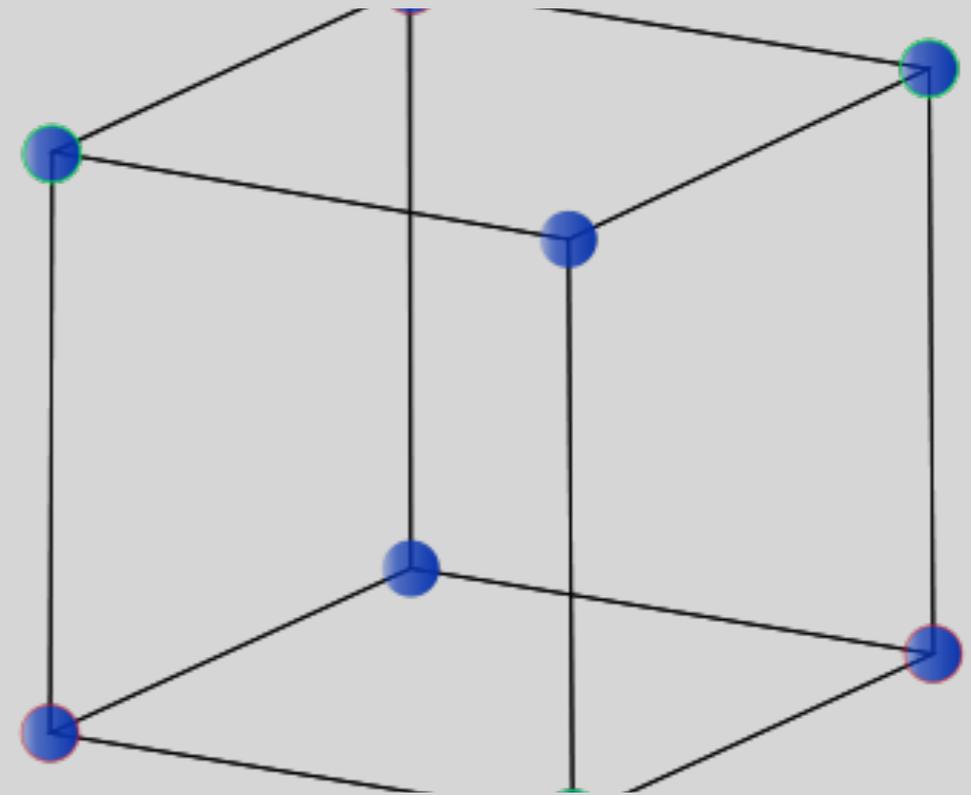
Negli impianti ideali le uniche grandezze che è necessario conoscere sono il potenziale elettrico e la potenza di utilizzatore e generatore.

Attraverso il circuito infatti si deve collegare l'utilizzatore di una determinata potenza P che funziona ad un certo potenziale U con un generatore adatto che lo possa supportare. Nel circuito ideale non serve parlare di corrente, è una grandezza poco importante. Se il sistema è ideale le cariche attraversano il materiale conduttore per arrivare all'utilizzatore, sarà l'utilizzatore a stabilire quante cariche (cioè quanta corrente) devono attraversare il circuito, per chi realizza l'impianto l'unica cosa che conta è collegare i componenti in un circuito chiuso attraverso dei conduttori.

Ovviamente si sa per esperienza (o conoscenza più o meno diretta) che nella realtà questo non è vero, la corrente è importante, anzi è fondamentale. La differenza tra i due mondi, ideale e reale, risiede nel fatto che nel mondo ideale si assume che la carica elettrica possa attraversare liberamente un conduttore elettrico, nel mondo reale no.

Nella realtà quando delle cariche elettriche devono attraversare un conduttore entrano in collisione con gli atomi presenti che ne limitano il movimento. Le cariche quindi non sono libere di muoversi perché incontrano degli

GALLERIA 4.1 Esempi di cristalli che caratterizzano la struttura solida dei metalli



Struttura cubica semplice, sono in evidenza i nuclei degli atomi. Questa struttura è tipica dell'alluminio



ostacoli al loro passaggio. Questi ostacoli dipendono dalla struttura che gli atomi formano unendosi tra loro nel formare la struttura solida e quindi in ultima analisi dipende dal materiale stesso.

Questo ostacolo che diventa caratteristico del materiale usato per condurre la corrente elettrica viene chiamato resistenza specifica o resistività del materiale. Più questa resistività è alta e maggiore è l'ostacolo al passaggio delle cariche elettriche. Trovando un ostacolo sulla loro strada il numero di cariche che possono passare in un determinato tempo, in altre parole la corrente elettrica diminuisce.

I materiali conduttori possono essere suddivisi in base alla loro resistività in questo modo:

- ottimi conduttori se hanno una bassissima resistività
- buoni conduttori se hanno una bassa resistività
- cattivi conduttori se la loro resistività aumenta

Gli impianti reali devono fare il conto con il fatto che tutti i materiali compresi i conduttori interagiscono con le cariche che li attraversano creando ostacoli. Gli effetti che

ne derivano obbligano l'impiantista a conoscere e controllare il valore della corrente elettrica. Anche la scelta del conduttore da utilizzare nell'impianto deve tener conto di questo nuovo aspetto.

La resistenza elettrica e la legge di Ohm

Prerequisiti

1. La tensione elettrica
2. La corrente elettrica

Se tutti i materiali ostacolano il passaggio dell'elettricità significa che tutti i componenti, dal conduttore all'interruttore e dall'utilizzatore fino al generatore stesso, ostacolano il movimento delle cariche e riducono la corrente. Si introduce in questo modo il concetto di resistenza elettrica (R) come:

l'ostacolo complessivo che le cariche incontrano nell'attraversare un componente o un circuito

Il set di grandezze che caratterizzano un circuito elettrico si ingrandisce; la resistenza R si aggiunge alla potenza P , tensione U e corrente I . Per come è stata presentata la resistenza deve, in qualche modo, influire su valore della corrente, della potenza disponibile e quindi anche sul potenziale delle cariche.

Nel corso di esperimenti sui circuiti elettrici il matematico e fisico Georg Simon Alfred Ohm riuscì a determinare il legame tra il potenziale delle cariche, la resistenza di un circuito e la corrente che lo attraversa. I suoi risultati portarono a concludere che:

- per un dato circuito, quindi con resistenza fissata, all'aumentare del potenziale si ha un aumento di flusso di cariche (corrente elettrica). Più precisamente tensione e corrente sono direttamente proporzionali cioè al raddoppiare di una raddoppia anche l'altra.

Personaggi 7 Georg Simon Ohm



- Fissando il potenziale e cambiando circuito (resistenza) si osserva una diminuzione della corrente all'aumentare della resistenza. Per essere più precisi corrente e resistenza risultano due grandezze inversamente proporzionali cioè al raddoppiare di una l'altra si dimezza.

Queste relazioni sono sintetizzate da una formula matematica nota come legge di Ohm (o prima legge di Ohm):

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

A questa legge sono associate le sue formule inverse

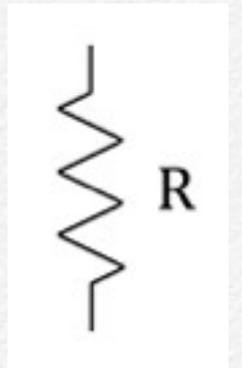
1Ω corrisponde alla resistenza di un circuito che è attraversato dalla corrente di 1A quando ai suoi capi è presente una tensione di 1V

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

$$U = R \cdot I$$

In onore al fisico che stabilì questa relazione l'unità di misura della resistenza porta il suo nome Ohm, il simbolo è Ω (omega).

A fianco viene riportata la rappresentazione grafica della resistenza.



A causa dell'influenza della resistenza sul passaggio della corrente in alcune situazioni risulta comodo costruire un componente che prende in nome di resistore con l'unico scopo di controllare o limitare la corrente.

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la corrente che attraversa un circuito alimentato con una tensione $U=230V$ sapendo che la resistenza interna del circuito vale $R=23\Omega$.

Dati

$$R = 23 \Omega$$

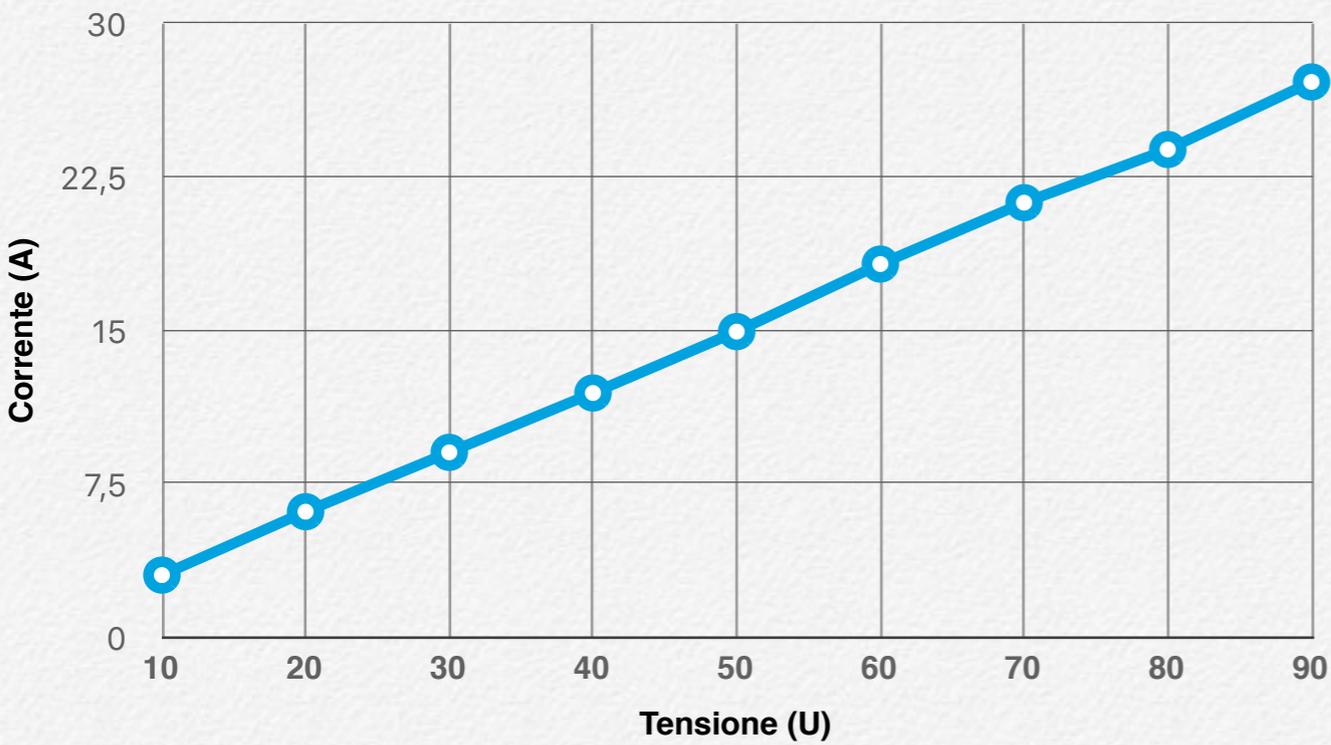
$$U = 230 V$$

Soluzione

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230V}{23\Omega} = 10A$$

Esercizio 2:

	Tensione (asse x)	Corrente (asse y)	Resistenza
1° misura	10 V	3,0 A	3,33 Ω
2° misura	20 V	6,1 A	3,27 Ω
3° misura	30 V	9,0 A	3,33 Ω
4° misura	40 V	11,9 A	3,36 Ω
5° misura	50 V	14,9 A	3,35 Ω
6° misura	60 V	18,2 A	3,29 Ω
6° misura	70 V	21,2 A	3,30 Ω
6° misura	80 V	23,8 A	3,36 Ω
6° misura	90 V	27,1 A	3,32 Ω



Si vuole determinare il potenziale necessario per far circolare la corrente $I=5A$ in un circuito che presenta una resistenza $R=12\Omega$.

Dati

$$R = 12 \Omega$$

$$I = 5 A$$

Soluzione

$$U = I \cdot R = 5A \cdot 12\Omega = 60V$$

Esercizio 3 (Simile all'esperienza di Ohm):

Collegando un circuito ad un generatore si misura la corrente che lo attraversa.

Queste le misure effettuate:

	Tensione (asse x)	Corrente (asse y)
1° misura	10 V	3 A
2° misura	20 V	6,1 A
3° misura	30 V	9 A
4° misura	40 V	11,9 A
5° misura	50 V	14,9 A
6° misura	60 V	18,2 A
6° misura	70 V	21,2 A
6° misura	80 V	23,8 A
6° misura	90 V	27,1 A

Rappresentare su un grafico (tensione-corrente) i valori della tabella e calcolare in ogni caso la resistenza riscontrata.

Soluzione

Per tutte le righe della tabella si deve applicare la formula:

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

La conclusione di questo esperimento è che il rapporto tra tensione e corrente, quella che viene chiamata resistenza, è caratteristica del circuito cioè non cambia al variare della tensione.

La conduttanza elettrica

Spesso anziché parlare di resistenza, cioè dell'ostacolo che la corrente incontra nell'attraversare un oggetto si parla del suo opposto, cioè della conduttanza che si indica con la lettera G. In quanto opposto della resistenza indica la capacità di un corpo di condurre elettricità, valgono le relazioni.

$$G = \frac{1}{R} \qquad R = \frac{1}{G}$$

L'unità di misura è il Siemens (S) ed è esattamente l'inverso dell'ohm Ω , per questo motivo in passato la conduttanza veniva misurata in **mho**.

La legge di Ohm riscritta utilizzando la conduttanza anziché la resistenza assume la forma:

$$I = U \cdot G \qquad U = \frac{I}{G} \qquad G = \frac{I}{U}$$

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la conduttanza di un circuito sapendo che la sua resistenza vale $R=25\Omega$.

Dati

$$R = 25 \Omega$$

Soluzione

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{25\Omega} = 0,04 \text{ S}$$

Esercizio 2:

Determinare la conduttanza di un circuito attraversato dalla corrente $I=2A$ quando ad esso è applicato un potenziale $U=12V$.

Dati

$$I = 2 \text{ A}$$

$$U = 12 \text{ V}$$

Soluzione

$$G = \frac{I}{U} = \frac{2A}{12V} = 0,166 \text{ S}$$

Esercizio 3:

Determinare la corrente che attraversa un circuito con conduttanza $G=0,02S$ quando ai suoi capi è presente una tensione $U=230V$.

Dati

$$G = 0,02 \text{ S}$$

$$U = 230 \text{ V}$$

Soluzione

$$I = U \cdot G = 230V \cdot 0,02S = 4,6A$$

L'effetto Joule

La dispersione di energia in presenza di resistenza elettrica

Prerequisiti

1. Energia e potenza
2. Resistenza elettrica
3. Prima legge di Ohm

La caduta di tensione

Si riparte dalla conclusione della sezione precedente: la resistenza è l'insieme di tutti gli ostacoli che le cariche incontrano in un componente o un tratto di circuito.

Attraversare un ostacolo richiede di spendere energia, comporta infatti la necessità di compiere un lavoro. L'energia non viene utilizzata ma persa dalle cariche negli urti con gli atomi durante il loro tragitto all'interno del circuito. In altre parole se delle cariche che presentano un certo potenziale elettrico attraversando una resistenza perdono parte della loro energia facendo diminuire il loro livello di energia ovvero il loro potenziale.

Questa perdita di potenziale viene chiamata caduta di tensione U_R , il nome stesso non lascia spazio a dubbi, è una tensione e si misura ovviamente in volt. Il simbolo può essere semplicemente la U se il contesto non lascia dubbi in merito altrimenti si può indicare anche con il simbolo U_R dove la R a pedice del potenziale U sta a significare che ci si riferisce ad una resistenza, è quindi una caduta di tensione.

Il valore del potenziale perso (della tensione caduta) sulla resistenza può essere calcolato con la formula inversa della legge di Ohm:

$$U_R = R \cdot I$$

La cdt può anche essere vista come il potenziale necessario alle correnti elettriche per attraversare una resistenza.

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la cdt su una resistenza $R=20\Omega$ se in essa circola una corrente $I=7A$.

Dati

$$R = 20 \Omega$$

$$I = 7 A$$

Soluzione

$$U_R = R \cdot I = 20\Omega \cdot 7A = 140V$$

Esercizio 2:

Determinare la cdt su una resistenza $R=0,4\Omega$ se in essa circola una corrente $I=5A$.

Dati

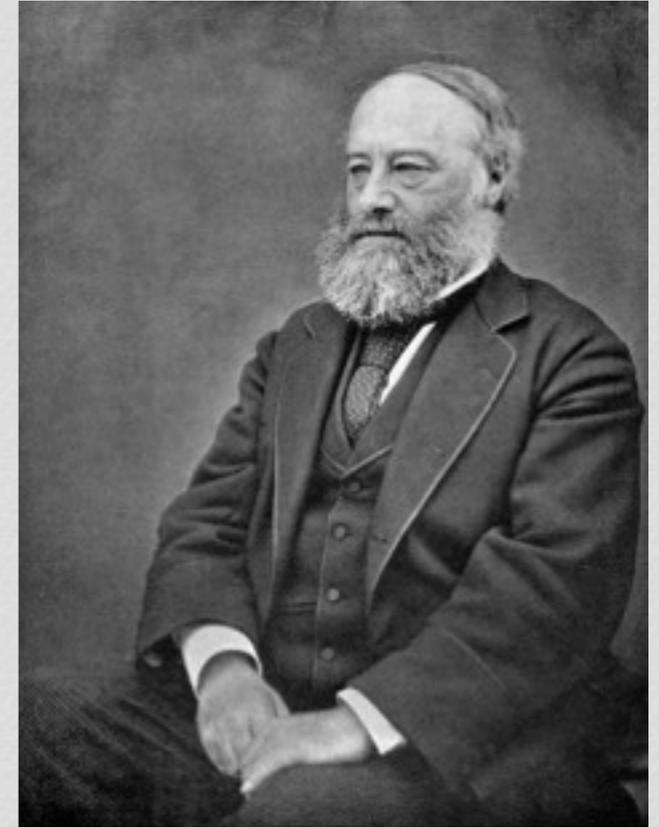
$$R = 0,4 \Omega$$

$$I = 5 A$$

Soluzione

$$U_R = R \cdot I = 0,4\Omega \cdot 5A = 2V$$

Personaggi 8 James Prescott Joule



Effetto Joule

L'energia "spesa" dalle cariche per oltrepassare l'ostacolo viene ceduta durante l'urto agli atomi, questa energia non può essere più recuperata e viene dispersa sotto forma di calore. Il primo a studiare questo effetto (non a livello atomico ovviamente) fu James Prescott Joule, nel 1841 arrivò a stabilire che quando la corrente attraversa una resistenza si produce calore in quantità proporzionale al valore della resistenza e proporzionale anche al quadrato della corrente che lo attraversa. Il fenomeno è conosciuto come effetto Joule e formula che sintetizza queste relazioni di proporzionalità viene chiamata legge di Joule; di seguito si presenta la legge di Joule per il calcolo dell'energia e a seguire quella per il calcolo della potenza di dissipazione:

$$E = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$P = R \cdot I^2$$

Sfruttando la legge di Ohm si può ottenere un'altra formula per il calcolo dell'energia dissipata in forma di calore - per effetto Joule - e della potenza di dissipazione:

$$E = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Importanza dell'effetto Joule

L'effetto Joule ricopre un ruolo fondamentale nel mondo degli impianti elettrici, probabilmente è l'effetto più importante che la corrente produce quando circola in un circuito. Di seguito si propongono solo alcuni dei motivi che costringono chi lavora nel mondo elettrico a tenerlo in così grande considerazione:

- La produzione di calore al passaggio della corrente si verifica sempre e comunque in ogni impianto, non si può evitare.
- A causa della resistenza elettrica, una parte più o meno cospicua dell'energia viene sicuramente dissipata per effetto Joule; il rendimento del sistema diminuisce con l'aumento di questo effetto
- Alcune macchine (asciugacapelli, forni elettrici, fornelli a piastre elettriche, scaldabagni elettrici, stufe ecc.)

sfruttano volutamente questo effetto per produrre calore

- Se il calore prodotto dalla corrente elettrica è eccessivo può dare origine a fenomeni di combustione o cortocircuito che oltre a danneggiare l'impianto, mettono in pericolo persone o rovinano cose.

Esempi

Esempio 1:

Un circuito è attraversato da corrente elettrica $I=4A$, sapendo che la resistenza del circuito vale $R=0,5\Omega$ quanta energia verrà dispersa sotto-forma di calore nel caso in cui il circuito funzioni per 24h?

Dati

$$R = 0,5 \Omega$$

$$I = 4 A$$

$$t = 24 h$$

Soluzione

$$\begin{aligned} E &= R \cdot I^2 \cdot t = 0,5\Omega \cdot (4A)^2 \cdot 24h = \\ &= 192Wh \end{aligned}$$

Equivalente meccanico del calore

La scoperta che nel tempo è stata archiviata come effetto Joule fa parte di studi più ampi sul calore e sulla sua relazione con altre forme di energia. La comunità scientifica ha deciso di onorare gli sforzi di questo scienziato assegnando all'unità di misura dell'energia il suo nome. L'energia meccanica infatti, come anche le altre forme di energia, storicamente viene misurata in Joule.

Un'eccezione a questa regola, che in alcuni casi viene tutt'ora mantenuta, la si ha per il calore il quale si misura in calorie (cal).

L'equivalenza tra calore e energia che poi si tramuta in equivalenza tra calorie e joule è stata dimostrata a suo tempo sempre da James Joule. Gli studi fatti lo hanno portato attraverso esperimenti di una certa precisione a stabilire le seguenti equivalenze

$$1cal = 4,184J$$

$$1J = 0,239cal$$

Si definisce equivalente meccanico del calore la quantità

$$J = 4,184 \frac{J}{cal}$$



Il conduttore

5

La resistività di un conduttore

Prerequisiti

1. Resistenza elettrica
2. Effetto Joule

Resistenza vs Resistività

Finora si è parlato della resistività in maniera qualitativa, è servita a classificare un conduttore come ottimo (bassissima resistività), buono (bassa resistività) o cattivo conduttore (per resistività crescenti) ma nulla si è detto sul valore.

Strettamente legata al valore della resistenza elettrica si differenzia da essa essenzialmente per il fatto che la resistenza si riferisce “all’ostacolo” complessivo che la corrente incontra nell’attraversare un oggetto mentre la resistività che indica una caratteristica del materiale, non dice molto sulla resistenza totale che la corrente incontra ad attraversare un oggetto. In altri termini la resistività mi permette di scegliere un materiale rispetto ad un’altro ma la resistenza complessiva dipende da quanto è grande oggetto fatto con quel materiale.

Un automobile che si muove su un terreno fangoso, scivoloso fa più fatica rispetto a a un’auto che si muove su una strada sterrata, quindi la difficoltà (possiamo paragonarla alla resistività) che si incontra nell’attraversare un terreno fangoso è maggiore rispetto alla difficoltà nell’attraversare un terreno sterrato. Ma se il tratto fangoso è

lungo solo 2m e la strada sterrata è lunga 500m dove complessivamente c'è l'ostacolo maggiore (che possiamo paragonare alla resistenza)? Senza provare viene da dire spontaneamente sulla strada sterrata per il semplice motivo che il percorso è molto più lungo.

Tra resistività e resistenza c'è quindi un rapporto simile a quello che c'è tra difficoltà e ostacolo. L'ostacolo dipende dalla difficoltà ma non solo. La resistività si indica con la lettera ρ (si legge rho o ro). Attenzione è diversa dalla lettera p (lettera p e la lettera ro ρ).

Unità di misura

La resistività ha l'unità di misura derivata dalla resistenza, più precisamente nel SI l'unità di misura è $\Omega \cdot m$ (Ω per metro). Un'altra misura più pratica e molto usata nel

Dire che un materiale ha una resistività di $1\Omega \cdot mm^2/m$ significa dire che la corrente nell'attraversare un oggetto con sezione $1mm^2$ e lun-

mondo elettrotecnico è

$$\Omega \frac{mm^2}{m}$$

si legge ohm per mm^2 fratto metro.

La resistività dei metalli

Il valore della resistività è stato misurato sperimentalmente per quasi tutti i materiali conduttori e riportato in apposite tabelle che si possono recuperare sui libri di te-

TABELLA 5.1 Tabella della resistività per alcuni conduttori

Metallo	Resistività ρ (Ωm)	Resistività ρ ($\Omega \cdot mm^2/m$)
Alluminio	$2,5 \cdot 10^{-8}$	0,025
Argento	$1,5 \cdot 10^{-8}$	0,015
Costantana	$5 \cdot 10^{-7}$	0,5
Platino	$9,8 \cdot 10^{-8}$	0,098
Oro	$2,2 \cdot 10^{-8}$	0,022
Rame	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,017
Zinco	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,055

Il valore della resistività si intende ad una temperatura di $20^\circ C$

sto o nelle pagine web di siti affidabili (siti universitari, siti per elettrotecnici, ecc.).

Come è già stato detto la comunità scientifica utilizza l'unità di misura del SI, nel caso in cui ci sia la necessità

di convertire le unità di misura si possono usare le seguenti equivalenze:

$$1 \Omega m = 10^6 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$1 \Omega \frac{mm^2}{m} = 10^{-6} \Omega m$$

GALLERIA 5.1 Materiali conduttori



Rame



Nella tabella riportata si vede che tra i materiali migliori per la conduzione elettrica ci sono il rame, il platino, l'argento, l'alluminio mentre materiali che conducono meno sono la costantana e lo zinco.

Cercando da altre fonti il valore della resistività potrebbe essere diverso da quello proposto nella tabella, di seguito vengono proposti 2 motivi che possono spiegare queste differenze:

- quando si parla di metalli non si hanno dei materiali puri al 100% o che hanno subito trattamenti, questo significa che la qualità dei materiali proposti può essere differente. Ad esempio il rame disossidato o elettrolitico oppure si può avere rame crudo o ricotto e questo cambia la resistività.
- Come è scritto nella tabella il valore della resistività è riferito ad una temperatura di 20°C, si deve verificare se eventuali differenze possono essere spiegate perché riferite a temperature differenti.

Il conduttore dei cavi elettrici

La scelta del conduttore da utilizzare dipende sia dalla resistività, la più bassa possibile, che da altri fattori quali ad esempio il costo commerciale. Nella pratica la quasi

GALLERIA 5.2 Cavi conduttori



Cavo flessibile unipolare in rame



totalità dei cavi è in **rame (Cu)** elettrolitico il quale nonostante un costo non basso garantisce un'ottima conducibilità elettrica. Una valida alternativa al rame è l'alluminio, il quale ha una resistività più alta ma permette di avere costi più contenuti, un'altro vantaggio dell'allumi-

nio sul rame è la massa (di conseguenza il peso) inferiore, 2700 contro 8920 kg/m³.

Ad esempio un cavo della lunghezza $l=20\text{m}$ e della sezione $S=100\text{mm}^2=0,0001\text{m}^2$ presenta un volume (si tratta del volume di un cilindro):

$$\begin{aligned} V &= S \cdot l = 100 \text{ mm}^2 \cdot 20 \text{ m} = \\ &= 0,0001 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ m} = \\ &= 0,002 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

nel caso in cui il cavo è in rame (densità $d=8920 \text{ kg/m}^3$) la sua massa risulta:

$$\begin{aligned} m &= V \cdot d = \\ &= 0,002 \text{ m}^3 \cdot 8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \\ &= 17,84 \text{ Kg} \end{aligned}$$

per un peso di 175N, nel caso di alluminio (densità $d=2700 \text{ kg/m}^3$) si ha invece:

$$\begin{aligned} m &= V \cdot d = \\ &= 0,002 \text{ m}^3 \cdot 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \\ &= 5,4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

per un peso di circa 54N, con una diminuzione in peso di circa il 70%!

Sembra poco ma nel caso di cavi molto lunghi, le linee si spostano per chilometri, il vantaggio è considerevole.

La conducibilità elettrica

In alcune situazioni si parla di conducibilità (σ) elettrica anziché di resistività, il termine stesso fa capire che al contrario della resistività indica la tendenza di un materiale a condurre la corrente elettrica, è matematicamente l'inverso della resistività:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

TABELLA 5.2 Resistività a 20°C e coefficiente termico di variazione della temperatura.

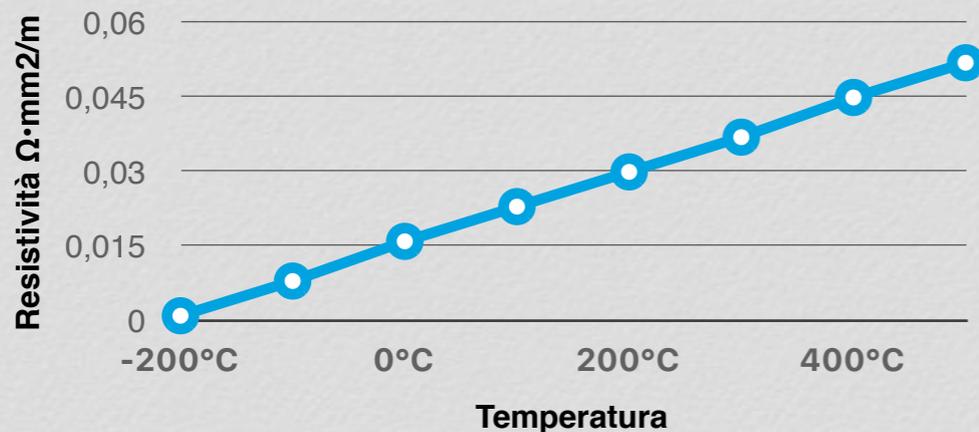
Metallo	Resistività ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Coefficiente α (1/°C)
Alluminio	0,025	+0,0047
Argento	0,015	+0,0041
Costantana	0,5	+0,000004
Platino	0,098	0,0039
Oro	0,022	0,0034
Rame	0,017	0,0043
Zinco	0,055	0,0042

In questa tabella la temperatura di riferimento è 20°C.

La dipendenza dalla temperatura

Ormai è chiaro come la resistività di un materiale è legata sia al tipo di metallo, ovvero alla struttura solida che il metallo assume. La difficoltà che le cariche incontrano nell'attraversare un metallo dipende infatti da come sono disposti gli atomi oltre che dal tipo di atomo, questo significa che se un agente esterno modifica questa struttura la resistività del metallo cambia. L'agente esterno, ambientale, di cui si sta parlando è la temperatura, la resistività di un materiale è influenzata dalla temperatura, cioè cambia al cambiare della temperatura. La formula che

GRAFICO 5.1.1 Grafico di variazione della resistività del rame -Cu-



può essere in generale applicata allo studio di questo andamento è la seguente:

$$\rho(T) = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

dove

- $\rho(T)$ è la resistività alla temperatura T espressa in °C
- ρ_0 è la resistività a 0°C
- α è il coefficiente termico di variazione della resistività
- T è la temperatura espressa in °C

Più in generale la formula può essere scritta nel seguente modo:

$$\rho(T_2) = \rho(T_1) \cdot (1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1))$$

dove in questo caso

- $\rho(T_1)$ è la resistività alla temperatura T_1
- $\rho(T_2)$ è la resistività alla temperatura T_2

Per i metalli il coefficiente α di dilatazione termica è generalmente positivo, questo significa che la resistività di un metallo aumenta all'aumentare della temperatura.

Applicando questa legge al rame si può ottenere la variazione della sua resistività al variare della temperatura, i risultati vengono riportati nel grafico qui sotto (lo studio

Resistenza di un cavo: la seconda legge di Ohm

Prerequisiti

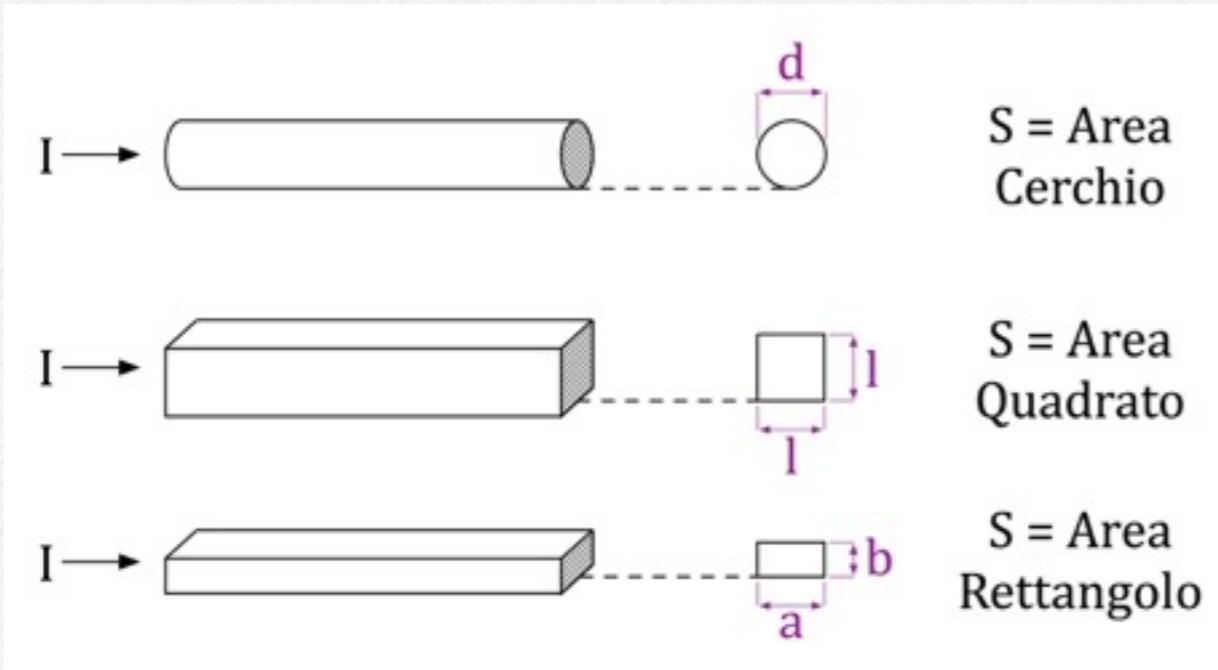
1. Resistività di un materiale
2. Superficie delle figure piane

Quasi tutti i cavi usati negli impianti elettrici sono di rame; ovviamente per tutti i cavi la resistività, cioè la resistenza specifica del materiale di cui sono composti cioè del rame, è uguale. Non tutti i cavi però hanno la stessa dimensione o la stessa lunghezza, queste differenze possono far pensare che i cavi hanno tutti una resistenza complessiva differente. La realtà conferma l'ipotesi nel senso che compiendo esperimenti su cavi differenti si verifica una differente resistenza.

In particolare le dimensioni che influenzano la resistenza di un cavo sono la sua **lunghezza l** e la sua **sezione**.

La lunghezza, è facile capire a cosa ci si riferisce, si indica con l e viene misurata in metri (m). Per la sezione invece è necessario fare delle precisazioni, infatti con lo stesso termine si indica:

- la forma geometrica che si ottiene tagliando il cavo perpendicolarmente alla lunghezza (sezione circolare, sezione quadrata, sezione cilindrica, ecc.)
- il valore dell'area di questa forma geometrica, cioè la superficie disponibile al passaggio della corrente elettrica (come rappresentato in figura).



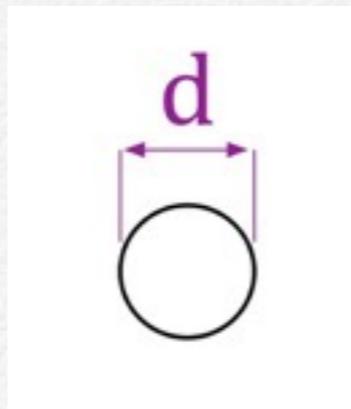
La sezione si indica con la lettera S e secondo il SI si misura in m² (metri quadri), nella pratica è spesso utilizzata un'altra unità di misura il mm² (millimetro quadro).

Riferendosi ai cavi presentati in figura il valore delle superfici valgono:

Per la sezione **circolare** (3 formule equivalenti) - *r* è il raggio; *d* è il diametro

$$S = \pi \cdot r^2$$

$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$



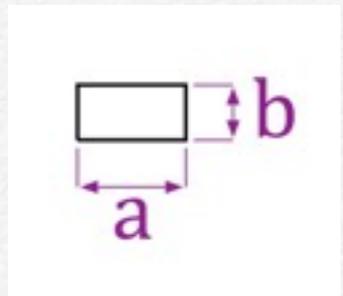
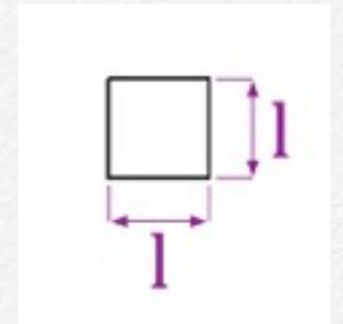
$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Per la sezione **quadrata** - *l* è il lato

$$S = l^2$$

Per la sezione **rettangolare** - *a, b* sono i due lati

$$S = a \cdot b$$



La sezione più largamente utilizzata è quella circolare, le sezioni dei cavi che si possono trovare in commercio e adatti alla realizzazione di impianti elettrici sono riportati nella [tabella 5.3](#).

TABELLA 5.3 Sezione e diametro conduttori

Sezione (mm ²)	Diametro teorico (mm)	Diametro reale (mm)	Sezione (mm ²)	Diametro teorico (mm)	Diametro reale (mm)
0,5	0,80		16	4,51	5
0,75	0,9		25	5,64	6,2
1	1,13	1,3	35	6,67	7,6
1,5	1,38	1,6	50	7,97	8,9
2,5	1,78	1,9	70	9,44	10,5
4	2,26	2,5	95	10,70	12,5
6	2,76	3	120	12,36	13,7
10	3,57	4	150	13,82	15

Le sezioni reali sono riferite ai prodotti della Baldassarri Cavi

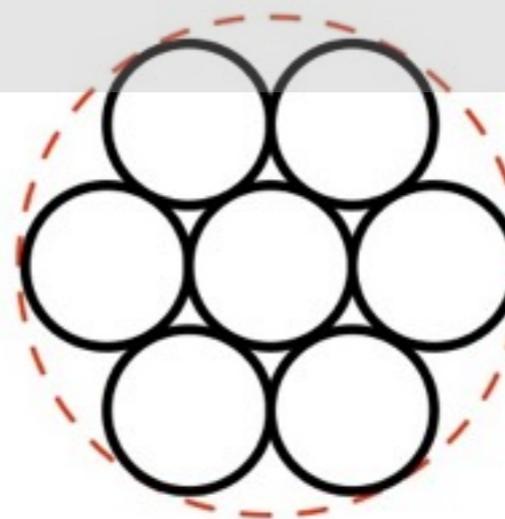
Nella tabella sono presenti due differenti diametri il primo è il diametro ideale nell'ipotesi che il cavo abbia una sezione esattamente circolare, il secondo indica il diametro proposto dal produttore (nell'immagine a fianco è il tratto in rosso).

Ci possono essere anche conduttori a sezioni differenti, rettangolare o quadrata, usate per le trecce, barre o collettori di Terra.

GALLERIA 5.3 Possibili sezioni dei conduttori elettrici



Cavi di rame flessibili



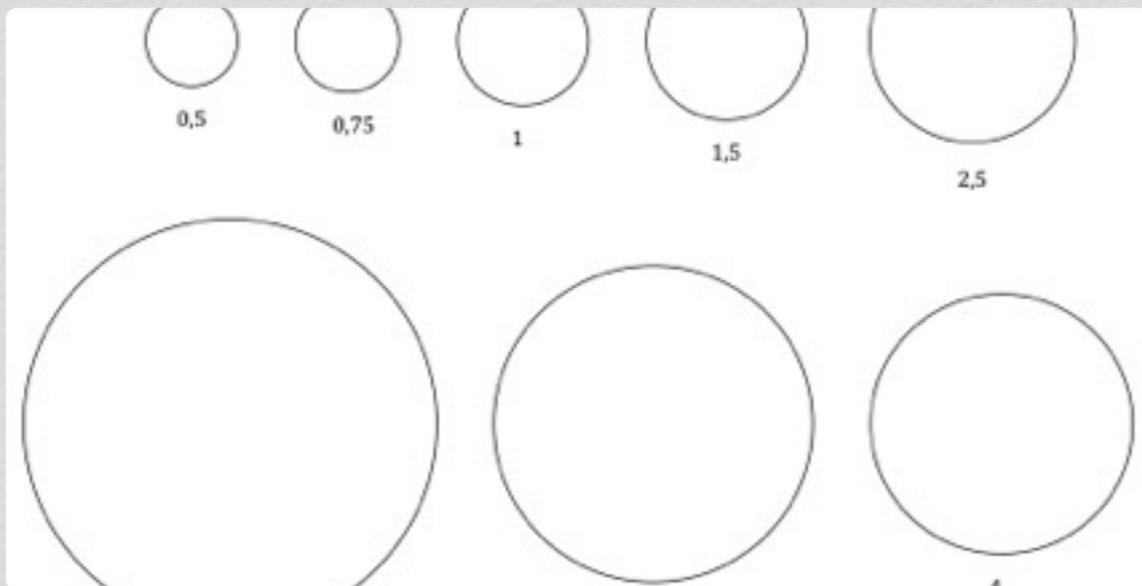
Influenza delle dimensioni di un conduttore sulla resistenza

La dipendenza della resistenza totale dalle dimensioni di un conduttore è abbastanza intuitiva.

tiva, i seguenti ragionamenti possono aiutare a comprendere ciò che poi verrà sintetizzato nella formula matematica per il calcolo della resistenza di un cavo.

Si prenda un cavo di una data sezione e lunghezza e quindi di una data resistenza R , allungando il cavo ci si aspetta che la sua resistenza aumenti, le cariche infatti devono percorrere più “strada” per attraversarlo; intuitivamente al raddoppiare della lunghezza di un cavo si rad-

FIGURA 5.1 Le sezioni dei cavi



Confronto, in proporzione, tra le sezioni dei cavi presenti in commercio.

doppia la resistenza del cavo, la proporzionalità tra resistenza e lunghezza del cavo è diretta.

Ritornando ancora al cavo di resistenza R , allargando la sua sezione ci si aspetta che la sua resistenza diminuisca, posizionando più cavi uno in fianco all'altro aumenta lo “spazio” a disposizione delle cariche per attraversarlo (il discorso è una semplificazione) diminuendo così la resistenza; al raddoppiare della sezione si dimezza la resistenza, si parla in questo caso di proporzionalità inversa.

La seconda legge di Ohm

I ragionamenti anche se non rigorosi permettono anticipare quello che è sintetizzato dalla seconda legge di Ohm: la resistenza elettrica di un cavo (si intende la parte metallica) dipende:

- dal materiale di cui è composto, è direttamente proporzionale alla sua resistività ρ
- dalle dimensioni del cavo, direttamente proporzionale alla sua lunghezza l e inversamente proporzionale alla sua sezione S :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Valgono le formule inverse per il calcolo di sezione e lunghezza:

$$S = \rho \cdot \frac{l}{R}$$

$$l = R \cdot \frac{S}{\rho}$$

o, anche se meno usata, per il calcolo della resistività

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$



Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la ~~resistenza~~ ~~complessiva~~ di un cavo di rame (per il valore della resistività si utilizzi la [tabella delle resistività](#)) lungo $l=10\text{m}$ e della sezione $S=1,5\text{mm}^2$.

Dati

$$\rho_{\text{rame}} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$S = 1,5 \text{ mm}^2$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{l}{S} = \\ &= 0,017 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{10 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2} \\ &= 0,113 \Omega \end{aligned}$$

Nella soluzione si nota che l'unità di misura della resistività si semplifica parzialmente con l'unità di misura della lunghezza e della sezione. Se la sezione è espressa in mm^2 , la resistività deve essere espressa in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, in caso contrario si devono eseguire delle equivalenze.

Esercizio 2:

Determinare la resistenza di un cavo lungo $l=0,5\text{Km}$ della sezione $S=35\text{mm}^2$.

Dati

$$\rho_{\text{rame}} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$l = 0,5 \text{ Km} = 500 \text{ m}$$

$$S = 35 \text{ mm}^2$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{l}{S} = \\ &= 0,017 \text{ } \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{500 \text{ m}}{35 \text{ mm}^2} \\ &= 0,24 \Omega \end{aligned}$$

Esercizio 3:

Determinare la resistenza di un cavo lungo $l=12\text{m}$ della sezione $S=2,5\text{mm}^2$. sapendo che il materiale di cui è composto è una lega con resistività $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

Dati

$$\rho_{\text{RAME}} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$$

$$l = 12 \text{ m}$$

$$S = 2,5 \text{ mm}^2$$

Soluzione 1:

Si converte la sezione da mm^2 a m^2

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{l}{S} = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \text{m} \cdot \frac{12 \text{ m}}{2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \\ &= 0,13 \Omega \end{aligned}$$

Soluzione 2:

Si converte la resistività in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$$\rho = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \text{m} = 0,027 \text{ } \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{l}{S} = \\ &= 0,027 \text{ } \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{12 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} \\ &= 0,13 \Omega \end{aligned}$$

Da questi esempi emerge che la resistenza di un cavo è molto bassa, difficilmente supera $0,5\Omega$; spesso a causa di questo basso valore può essere trascurata. La resistenza dei cavi non diventa più trascurabile quando nella distribuzione dell'energia elettrica la lunghezza dei cavi aumenta sensibilmente.

Dipendenza della resistenza dalla temperatura

La resistenza come la resistività dipende dalla temperatura, la formula che descrive questa relazione è del tutto simile alla formula che lega la resistività alla temperatura:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

$$R(T_2) = R(T_1) \cdot (1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1))$$

Questo aspetto della resistenza ha un'importanza pratica solo nel caso in cui la temperatura aumenta sensibilmente, tutti gli utilizzatori che sfruttano l'effetto Joule (lampa-

da ad incandescenza, fornelli elettrici ecc.) sono sicuramente interessati da questo fenomeno. Al contrario in situazioni normali, con le temperature che si possono avere ad esempio all'interno degli impianti elettrici, questo fenomeno diventa poco significativo. Come si può facilmente ricavare dalla [Tabella 5.2](#) la resistività del rame e quindi la resistenza raddoppia dopo circa 250°C.

Esercizi

Esercizio 1:

Determinare la resistenza di un cavo di rame alla temperatura $T=450^{\circ}\text{C}$ sapendo che la sua resistenza alla temperatura $T=0^{\circ}\text{C}$ ha una resistenza $R=1\Omega$. Il coefficiente è ottenuto dalla [Tabella 5.2](#).

Dati

$$R(0^{\circ}\text{C}) = 1 \Omega$$

$$T = 450^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,0043 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

Soluzione

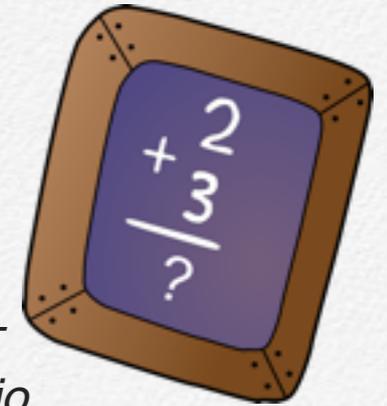
$$R = R(T_2) =$$

$$= R(T_1) \cdot (1 + \alpha(T_2 - T_1)) =$$

$$= 1\Omega \cdot (1 + 0,0043 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot (450^{\circ}\text{C} - 0^{\circ})) =$$

$$= 1 \Omega \cdot (1 + 1,505)$$

$$= 2,505 \Omega$$



Esercizio 2:

Determinare la resistenza alla temperatura $T=100^{\circ}\text{C}$ per un cavo di alluminio che alla temperatura $T=20^{\circ}\text{C}$ presenta una resistenza $R=0,13\Omega$.

Dati

$$R(20^{\circ}\text{C}) = 0,13 \Omega$$

$$T = 100^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,0047 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

TABELLA 5.4 Valori massimi suggeriti per i cavi in impianti civili

Sezione (mm ²)	I (A)	Sezione (mm ²)	I (A)
1	12	4	28
1,5	15,5	6	36
2,5	21	10	50

I dati della tabella sono i dati riportati dalla Baldassarri Cavi. Si tratta di correnti massime a 30°C; in tubo in aria

Soluzione

$$\begin{aligned} R &= R(T_2) = \\ &= R(T_1) \cdot (1 + \alpha(T_2 - T_1)) = \\ &= 0,13\Omega \cdot (1 + 0,0047 \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})) = \\ &= 0,13\Omega \cdot (1 + 0,0047 \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 80^\circ\text{C}) = \\ &= 0,13 \Omega \cdot (1 + 0,376) \\ &= 2,505 \Omega \end{aligned}$$

Esercizio 3:

Determinare la resistenza alla temperatura $T=200^\circ\text{C}$ per un cavo di costantana che alla temperatura $T=0^\circ\text{C}$ presenta una resistenza $R=0,4\Omega$.

Dati

$$R(0^\circ\text{C}) = 0,4 \Omega$$

$$T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,000004 \text{ } 1/^\circ\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R &= R(T_2) = \\ &= R(T_1) \cdot (1 + \alpha(T_2 - T_1)) = \\ &= 0,4\Omega \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (200^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})) = \\ &= 0,4\Omega \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 200^\circ\text{C}) = \\ &= 0,4 \Omega \cdot (1 + 0,0008) \\ &= 0,40032 \Omega \end{aligned}$$

Praticamente lo stesso valore di resistenza.

Effetto Joule e corrente massima nei cavi

Come visto nel capitolo precedente, il passaggio di corrente all'interno di una resistenza produce calore (effetto Joule), il cavo elettrico non fa eccezione. Se la corrente che attraversa un materiale è eccessiva il calore prodotto provoca ad un'aumento tale della temperatura che porta generalmente allo scioglimento della guaina isolante e in casi estremi alla fusione del conduttore stesso.

In entrambi i casi il danno sarebbe tale da rovinare l'impianto e provocare danni ingenti a persone e strutture (da questo calore prodotto si possono innescare incendi), per evitare di surriscaldare i cavi elettrici si devono considerare 2 aspetti:

TABELLA 5.5 Densità massima al variare della sezione

Sezione (mm ²)	I (A)	J (A/mm ²)
1	12	12
1,5	15,5	10,33
2,5	21	8,4
4	28	7
6	36	6
10	50	5

Il rendimento di un circuito

Prerequisiti

1. Energia e Potenza
2. Rendimento
3. Effetto Joule

A causa della resistenza del conduttore parte dell'energia a disposizione dell'impianto viene dissipata sotto forma di calore; per il privato si tratta comunque di energia che viene acquistata e non utilizzata. Visti i valori medi della resistenza di un cavo queste perdite di energia sono in generale molto basse e influiscono poco sul consumo energetico.

Definizioni

Con rendimento di un circuito o di un impianto si intende il rapporto tra l'energia effettivamente fornita all'utilizzatore e l'energia ottenuta da un generatore, in questa sezione si considerano solo le perdite per effetto Joule sui cavi elettrici.

$$\eta = \frac{E_U}{E_G}$$

dove si è indicato con E_U l'energia in ingresso all'utilizzatore, con E_G l'energia in uscita al generatore. Tra le due energie la differenza è data proprio dal calore dissipato per effetto Joule che per comodità viene indicato con E_L (Energia sulla Linea):

$$E_U = E_G - E_L$$

$$E_G = E_U + E_L$$

Con queste relazioni il rendimento può essere riscritto con le seguenti formule:

$$\eta = \frac{E_G - E_L}{E_G} = 1 - \frac{E_L}{E_G}$$

$$\eta = \frac{E_U}{E_U + E_L}$$

Il rendimento è adimensionale (non ha unità di misura) e può essere presentato in valori percentuali:

$$\eta(\%) = \eta \cdot 100$$

Rendimento e potenza

Spesso è più comodo parlare di rendimento dell'impianto in maniera generica senza far riferimento ad una situazione d'uso specifica; vista la stretta relazione tra energia e potenza è possibile definire il rendimento anche in questo modo:

$$\eta = \frac{P_U}{P_G}$$

$$\eta = 1 - \frac{P_L}{P_G}$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_U + P_L}$$

Esercizi

Esercizio 1:

Un utilizzatore assorbe una potenza $P=2000W$, è collegato alla rete attraverso un cavo di rame con lunghezza $l=20m$ (si ricorda che complessivamente la lunghezza è di $40m$ perché la corrente deve poter tornare alla rete), della sezione di $2,5mm^2$. Quanto vale il rendimento dell'impianto sapendo che assorbe una corrente di $9A$?

Dati

$$\rho_{\text{rame}} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$l = 40 \text{ m}$$

$$S = 2,5 \text{ mm}^2$$

$$P_U = 2000W$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{l}{S} = \\ &= 0,017 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{40 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} \\ &= 0,272 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_L &= R \cdot I^2 = \\ &= 0,272 \Omega \cdot (9A)^2 \\ &= 22,32W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_U + P_L} =$$

$$= \frac{2000W}{2000W + 22,32W} = \frac{2000}{2022,32}$$

$$= 0,989$$

$$\eta(\%) = \eta \cdot 100 = 0,989 \cdot 100 = 98,9 \%$$

Esercizio 2:

Un generatore fornisce una corrente di 16A con un potenziale $U=230V$, la linea ha una resistenza di $0,4\Omega$. Calcolare la potenza disponibile all'utilizzatore e il rendimento dell'impianto.

Dati

$$R_L = 0,4 \Omega$$

$$U = 230V$$

$$I = 16 A$$

Soluzione

$$P_G = U \cdot I = 230V \cdot 16A = 3680W$$

$$P_L = R \cdot I^2 = 0,4\Omega \cdot (16A)^2 =$$

$$= 0,4\Omega \cdot 256A^2 = 102,4W$$

$$P_U = P_G - P_L = 3680W - 102,4W = 3577,6W$$

$$\eta = 1 + \frac{P_L}{P_G} = 1 + \frac{102,4W}{3680W} =$$

$$= 1 - 0,028 = 0,972$$

$$\eta(\%) = \eta \cdot 100 = 0,972 \cdot 100 = 97,2 \%$$

Bassa influenza della dispersione di calore nei cavi

In entrambi gli esempi mostrati si ha un elevato rendimento dell'impianto, in altre parole sia la dissipazione dell'energia per effetto Joule da parte dei cavi è risultata molto bassa, questo grazie a due fattori:

- il basso valore di resistenza dei cavi dovuto in modo particolare alla lunghezza contenuta
- il basso valore di corrente - indicativamente sono i valori tipici di corrente che circolano in un impianto civile -.

Negli impianti civili quindi la presenza del cavo è spesso trascurabile, diventa rilevante quando le lunghezze dei cavi diventano maggiori, in questi casi si aumenta la sezione diminuendo così la corrente e ancor di più il calore prodotto (dipende dal quadrato della corrente!).

Il problema del trasporto di energia

Ci sono situazioni nelle quali le perdite sulla linea diventano consistenti e non possono più essere trascurate, il caso più significativo è quello della distribuzione dell'energia dalle centrali alle nostre città o ai nostri quartieri dove sia le lunghezze dei cavi che le correnti aumentano enormemente.

Si consideri ad esempio un paese dove sono presenti 1500 abitazioni che si trova ad una distanza di 20km dalla centrale elettrica. Se ogni impianto assorbe una potenza di 2300W significa che la potenza complessiva richiesta alla centrale è di:

$$P_{Tot} = P \cdot 1500 = 2300W \cdot 1500 \\ = 3450000W = 3450KW = 3,45MW$$

Infine avendo un potenziale di 230V la corrente necessaria ad ogni appartamento risulta:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2300W}{230V} = 10A$$

Nel complesso quindi il paesino avrà bisogno di una corrente complessiva

$$I_{Tot} = I \cdot 1500 = 10A \cdot 1500 = \\ = 15000A = 15KA$$

Ipotizzando per i cavi una resistenza complessiva di 0,1Ω (su 20km!) si avrebbe una dissipazione di energia pari a:

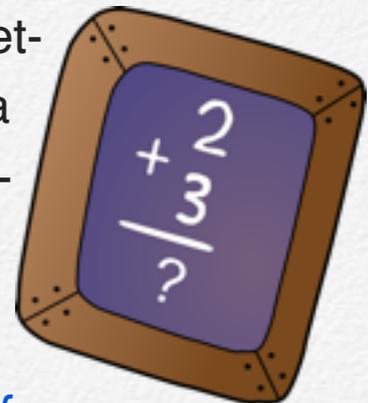
$$P_L = R \cdot I^2 = 0,1\Omega \cdot (15000A)^2 = \\ = 0,1\Omega \cdot 225000000A^2 = \\ = 22500000W = 22500KW = 22,5MW$$

Assurdo!: Per avere a disposizione 3,45MW vengono dissipati in forma di calore 22,5MW con un rendimento pari a:

$$\eta = \frac{P_U}{P_U + P_L} = \frac{3,45MW}{3,45MW + 22,5MW} = \\ = \frac{3,45}{25,95} = 0,133 = 13,3\%$$

Per evitare di sprecare inutilmente energia elettrica si può pensare di diminuire la resistenza dei cavi aumentandone la sezione ma questo nella realtà oltre a non portare grossi vantaggi - la corrente rimarrebbe ancora troppo alta - introduce altri svantaggi quale l'aumento sia del peso che del costo del materiale. L'unica soluzione è trasportare la stessa energia diminuendo la corrente, per far questo si deve aumentare il potenziale, cioè la tensione; si ricorda infatti che agli impianti serve energia/potenza e non corrente, se si ha la necessità di trasportare 230kW non sono costretto ad usare una corrente di 1000A a 230V posso diminuire la corrente aumentandone il potenziale ad esempio 10A li trasporto a 2300V.

Nell'esempio precedente se la tensione fos-



se trasportata a 23000V anziché 230V si avrebbe una corrente sulla linea di:

$$I = \frac{P_{Tot}}{U_L} = \frac{3450000W}{23000V} = 150A$$

La corrente diventerebbe circa 100 volte più piccola e la potenza diminuirebbe di 10000 volte (si possono effettuare i calcoli per avere una conferma) e il rendimento tornerebbe ad avere valori accettabili.

Bassa - Media - Alta tensione

a seguito di questi ragionamenti si è deciso di utilizzare l'energia elettrica nelle abitazioni con una **bassa tensione**, cioè un potenziale di 230V (negli USA 110V) e di trasportarla invece ad un potenziale molto più elevato per abbattere la corrente con la conseguente diminuzione della dispersione di energia per effetto Joule da parte dei cavi. Si possono considerare di bassa tensione (alternata) valori compresi tra 50V÷1000V. Il trasporto di energia che avviene ad un potenziale superiore si divide in trasmissione e distribuzione.

Con trasmissione di energia elettrica si intende il trasporto dell'energia dalle centrali di produzione verso i centri

di utilizzo, in questo caso il potenziale di trasporto dell'energia è elevato dai 40000V (40kV) ai 200000V (200kV) si parla in questo caso di **alta tensione**. In alcune situazioni si porta il potenziale anche a valori superiori

TABELLA 5.6 Valori di tensione nel trasporto dell'energia

Utilizzo	Classificazione	Valore di tensione
Produzione (centrale)*	Media Tensione	25KV
Trasmissione	Alta / Altissima	40KV - 380KV
Distribuzione	Media Tensione	1KV - 15KV
Utilizzo in impianti	Bassa Tensione	50V - 1KV
	Impianti industriali	230/380V
	Impianti civili	230V
Tensione di sicurezza	Bassissima Tensione	< 50V

* Il valore di tensione ottenuto da una centrale è puramente indicativo, in realtà il valore di tensione dipende dal tipo di centrale

ri (220-380kV) e si parla di **altissima tensione**.

Con distribuzione dell'energia elettrica si intendono quelle infrastrutture che hanno lo scopo di distribuire l'energia

Il corto circuito

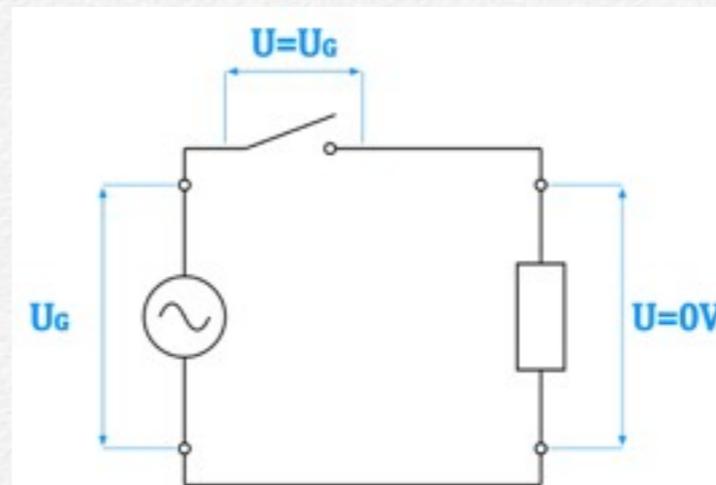
Prerequisiti

1. Resistenza elettrica
2. Resistenza di un cavo
3. Legge di Ohm
4. Effetto Joule

Quando due conduttori (due punti di un circuito) a diverso potenziale sono collegati tra loro attraverso un cavo elettrico si produce un corto circuito.

Immaginando di avere due conduttori a potenziali differenti, sul primo un potenziale U_1 e sul secondo un potenziale $U_2 < U_1$, Le cariche che si trovano al potenziale superiore hanno ovviamente più energia. Se questi due conduttori dovessero essere collegati tra loro attraverso un cavo (resistenza molto bassa) non ci sarebbe niente che ne limita il controllo o il passaggio, tutte le cariche

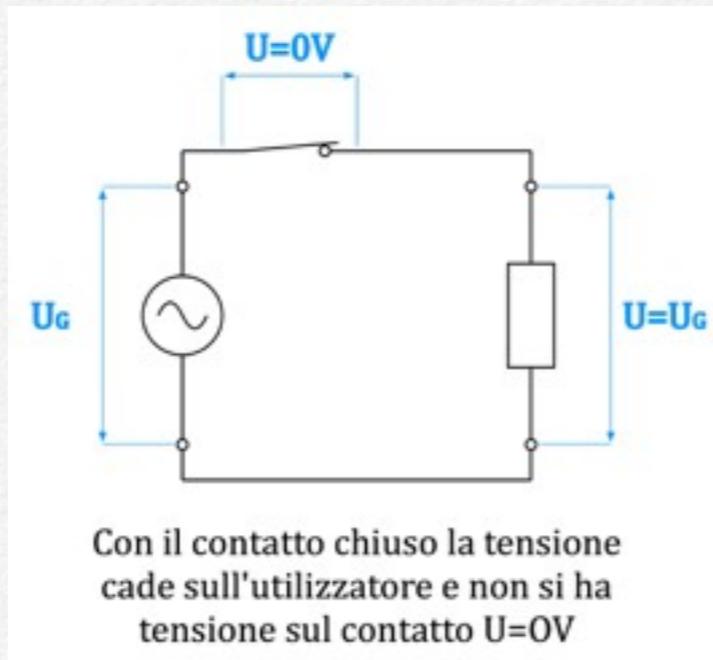
contemporaneamente cercherebbero di passare creando un picco di corrente con successivo surriscaldamento del cavo.



Con il contatto aperto la tensione cade sul contatto e sull'utilizzatore non si ha tensione $U=0V$

Dall'esempio appena portato si nota come il vero problema del cortocircuito è l'im-

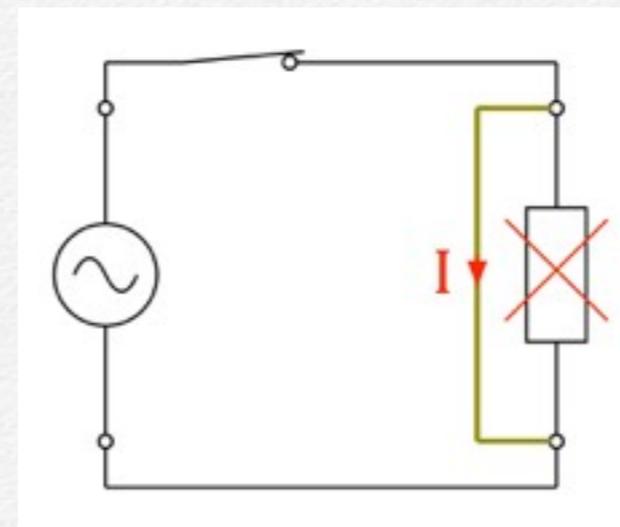
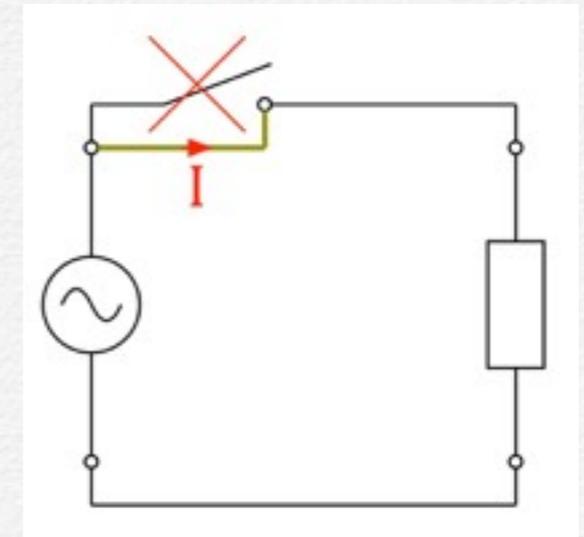
possibilità di limitare o regolare il flusso di cariche. Poiché il componente dedicato alla limitazione della corrente è l'utilizzatore, il cortocircuito, quello che nell'immaginario delle persone crea grossi problemi, consiste quindi nell'escludere l'utilizzatore dal percorso della corrente.



Tuttavia, come mostrato nelle figure a fianco, ogni componente del circuito ha un potenziale tra i suoi morsetti: per il generatore e l'utilizzatore è ovvio mentre per i dispositivi di comando si ha potenziale solo quando interrompono il circuito. Questo significa che ogni componente può essere cortocircuitato.

Collegando tra loro, con un cavo, i morsetti di uno dei tre componenti, generatore utilizzatore o dispositivo di comando, si creano dei percorsi per la corrente alternativi all'attraversamento del componente stesso. Si parla in

questi casi di cortocircuito del generatore, del dispositivo di comando o dell'utilizzatore.

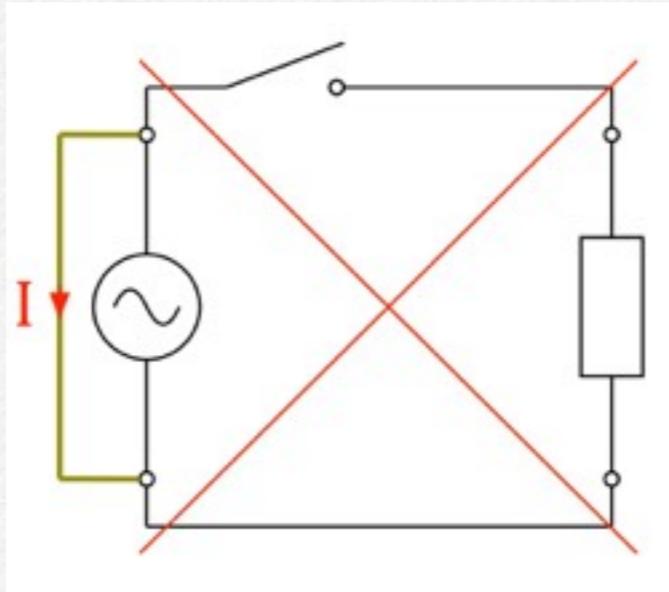


Effetti di un cortocircuito

Il cortocircuito può creare problemi di lieve entità come il funzionamento anomalo dell'impianto fino ad arrivare a danni gravi come l'incendio di un edificio.

Cortocircuito del dispositivo di comando

In questo caso il cortocircuito esclude il dispositivo di comando dal circuito nel senso che anche aprendo il contatto la corrente potrà sempre passare nel cavo. Il circuito non funziona correttamente ma a parte questo fatto non si creano altri problemi.



Cortocircuito dell'utilizzatore

Si tratta del cortocircuito per eccellenza: si esclude dal circuito colui che dovrebbe utilizzare l'energia elettrica per compiere lavoro, in questo caso si potrebbero creare

seri problemi in quanto il cavo di cortocircuito non sarebbe in grado di limitare il flusso di corrente elettrica che aumenterebbe a dismisura fino a far fondere il cavo stesso.

Cortocircuito del generatore

In questo caso ciò che si esclude dal passaggio della corrente è il circuito stesso compreso quindi anche l'utilizzatore, anche in questo caso non saremmo più in grado di controllare il valore della corrente elettrica con evidenti problemi all'impianto.

Esercizi

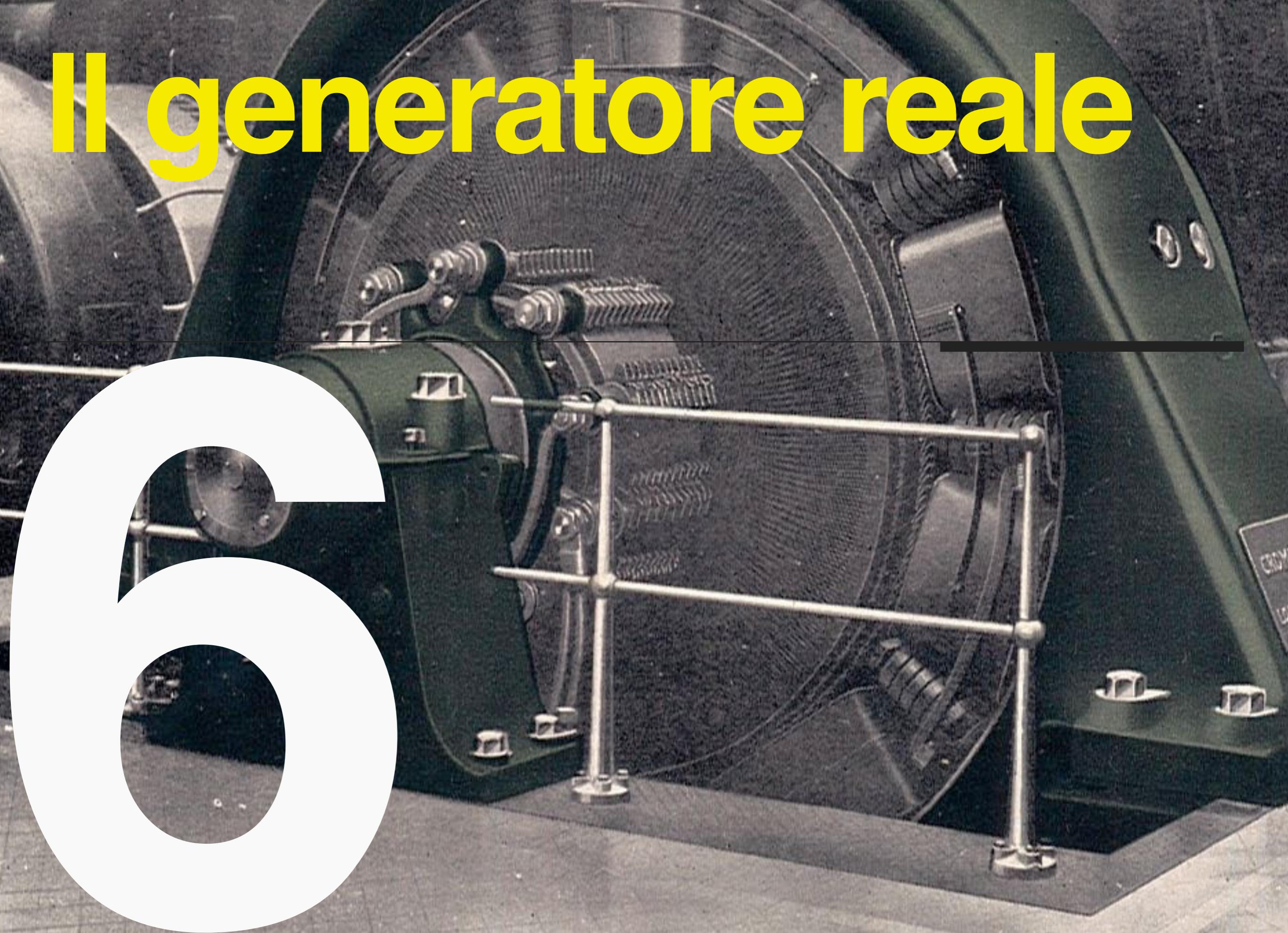
Esercizio 1:

Una prolunga da cantiere ($U=230V$) subisce uno schiacciamento nei pressi dell'utilizzatore. A causa di ciò fase e neutro vengono in contatto provocando un cortocircuito. Sapendo che la prolunga ha lunghezza $l=50m$, è composta da cavi di rame della sezione $2,5mm^2$ stabilire la corrente di cortocircuito che si viene a formare.

Dati

$$\rho_{\text{rame}} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Il generatore reale



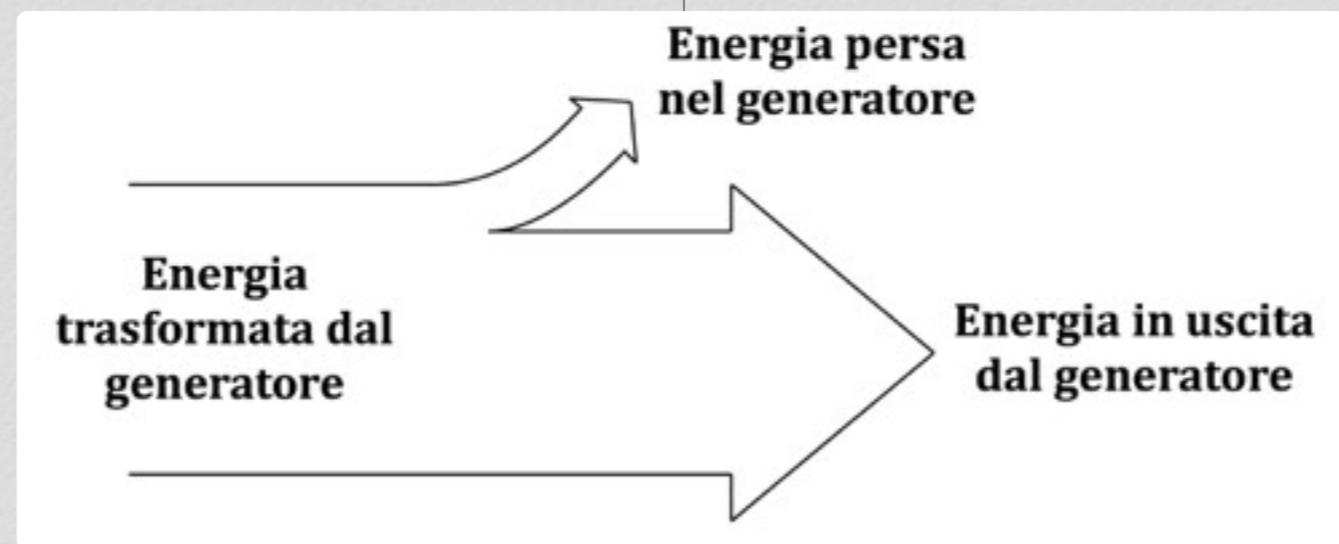
Nell'analisi dei sistemi reali non può mancare un accenno ai generatori, anch'essi sono composti da materiali che conducono la corrente elettrica e anch'essi quindi hanno una resistenza elettrica. Come tutte le resistenze anche questa, quando attraversata dalla corrente elettrica, provoca una caduta di tensione e quindi una perdita di potenziale elettrico, tradotto in termini energetici significa che parte dell'energia trasformata dal generatore viene persa perché dissipata dalla resistenza interna.

La presenza della resistenza elettrica dei conduttori non è l'unico aspetto che rende il generatore un componente reale, la tecnologia costruttiva ne limita in realtà la funzionalità: se fosse ideale sarebbe in grado di erogare tutta la corrente indipendentemente dal valore richiesto, nella realtà la quantità di corrente che il generatore è in grado di

erogare ha un limite. Per semplicità si può considerare questo limite ipotizzando la presenza di una resistenza interna equivalente che considera sia la resistenza dei cavi sia il limite fisico del generatore.

Per quanto riguarda gli impianti elettrici, il generatore è costituito dalla rete elettrica alla quale si collega, in questa situazione non esiste, per i valori di corrente normalmente utilizzati un limite di utilizzo cioè il generatore è in grado di erogare tutta la corrente che si vuole e la resistenza interna equivalente è esclusivamente dovuta alla presenza della resistenza dei conduttori elettrici.

GALLERIA 6.1 Flusso dell'energia che attraversa un generatore



FEM e ddp

La presenza di un generatore reale comporta una diminuzione dell'energia disponibile per circuito, questo fatto comporta la presenza di due diversi potenziali elettrici che nel caso di generatore ideale andranno a coincidere.

Prima di addentrarsi nello studio del comportamento di un generatore reale è opportuno ricordare che lo scopo di un generatore è duplice:

- avere ai suoi capi delle cariche ad un livello di energia (un potenziale) ben definito pronte a compiere lavoro in modo che quando viene collegato ad un circuito si possa avere ai suoi capi e quindi ai capi del circuito una ddp.

- Essere in grado di mantenere questa tensione nel tempo attraverso il lavoro di una forza esterna.

Per chiarire quest'ultimo punto si considerino le cariche che compiendo il lavoro lasciano il morsetto del generatore, attraversano il circuito e giungono all'altro capo; se questo passaggio dovesse continuare nel tempo ci sarebbero sempre meno cariche disponibili al lavoro con una relativa diminuzione della loro energia: dopo poco in generatore non sarebbe più in grado di funzionare se non fosse in grado sfruttando la forza esterna di compiere lavoro e aumentare l'energia elettrica delle cariche riportandole al potenziale necessario.

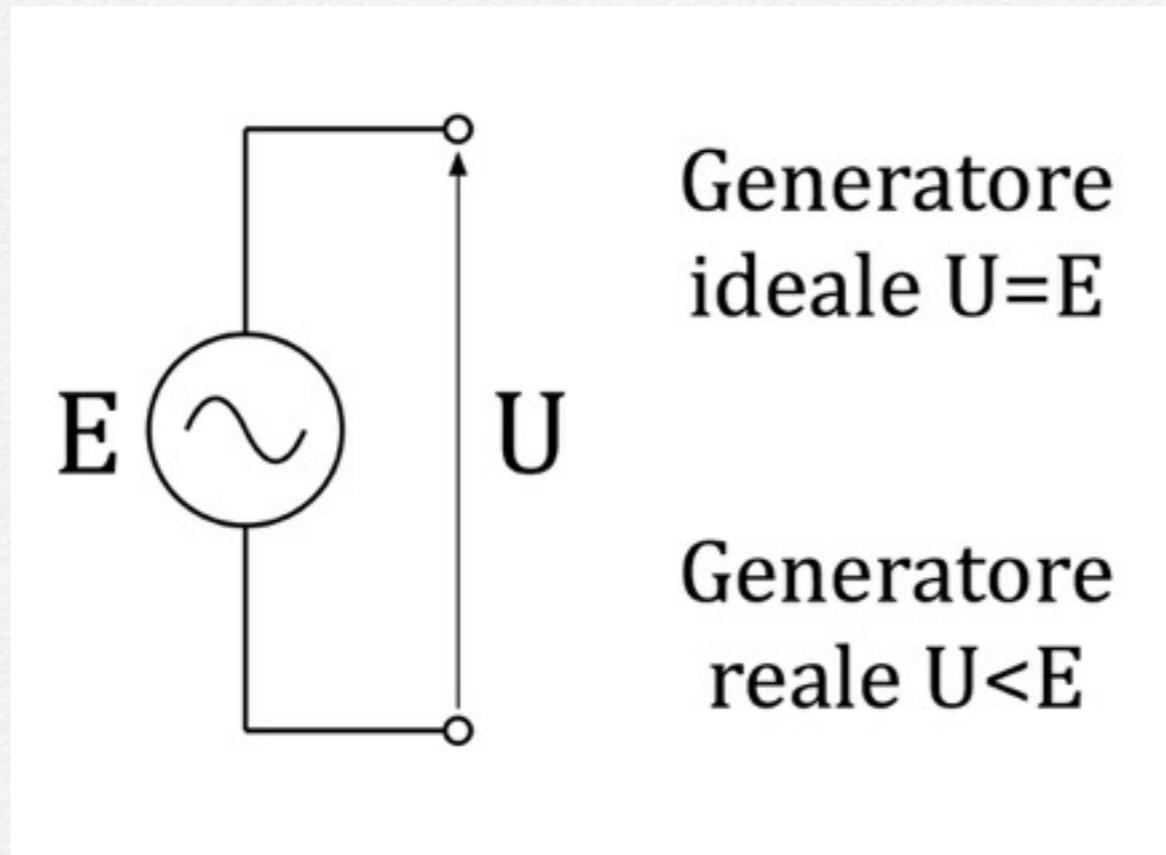
Questa capacità del generatore, di rifornire le cariche di energia, viene quantificata dal potenziale al quale vengono portate le cariche e viene chiamata Forza Elettro Motrice FEM del generatore.

Se ad esempio un generatore sfruttando altre forme di energia è in grado di fornire energia ad ogni carica in modo da portarla da un potenziale di 0V ad un potenziale di 20V si può dire che la sua FEM vale 20V.

Ovviamente questa è una delle due tensioni presenti all'interno di un generatore di cui si parlava in precedenza, l'altra è quella con la quale effettivamente viene alimenta-

- La differenza di potenziale (ddp) con la quale il generatore è in grado di far circolare le cariche nel circuito e che viene generalmente indicata con la lettera U

Nel caso di generatori ideali i due potenziali coincidono, cioè $U=E$, mentre nel caso di generatore reale la ddp è inferiore alla FEM $U<E$, nella prossima sezione si vedrà la relazione che lega questi due potenziali.



to il circuito, riassumendo si ha:

- Il potenziale (tensione) a cui il generatore è in grado di portare le cariche elettriche che prende il nome di Forza Elettro Motrice (FEM) e generalmente indicata con E

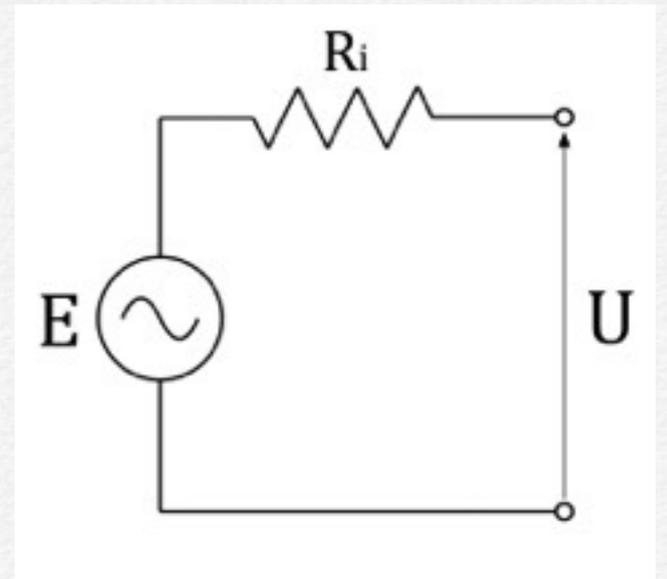
La resistenza interna

Prerequisiti

1. FEM e ddp
2. Resistenza

Nei sistemi reali quindi $U < E$ (si legge che la differenza di potenziale è minore della Forza Elettro Motrice), in altre parole il generatore fornisce alle cariche una certa energia indicata dal potenziale della FEM ma al momento di entrare nel circuito le cariche hanno già perso parte della loro energia, cioè il loro potenziale è diminuito.

La perdita di potenziale che subiscono le cariche (a tutti gli effetti è una caduta di tensione) può essere considerata immaginando la presenza di una resistenza come indicato in figura.



Questa resistenza creata ad hoc, che permette di considerare questa differenza tra U ed E , è tipica del generatore reale e rappresenta l'incapacità del generatore di trasmettere in uscita le cariche elettriche con l'energia prevista dalla FEM.

La resistenza prende il nome di resistenza interna del generatore, quando il generatore eroga una corrente ha l'ef-

fetto di produrre una caduta di tensione U_{Ri} (caduta di tensione sulla resistenza interna) che è proprio il potenziale perso:

$$U = E - U_{Ri} = E - R_i \cdot I$$

Il valore della caduta di tensione sulla resistenza interna aumenta con l'intensità di corrente.

Rendimento elettrico del generatore

Per il generatore reale si può definire un rendimento elettrico del generatore stesso come il rapporto tra l'energia ceduta alle cariche dal generatore e l'energia che le cariche portano al circuito:

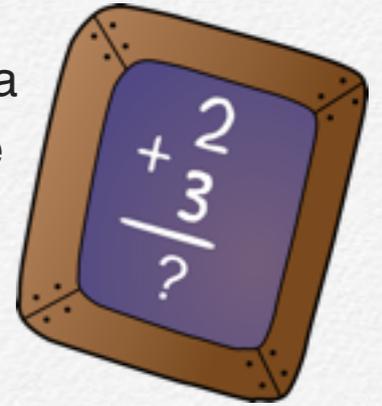
$$\eta_G = \frac{E_{ddp}}{E_{FEM}} \qquad \eta_G = \frac{P_{ddp}}{P_{FEM}}$$

dove

- E_{ddp} è l'energia che le cariche portano al circuito (P_{ddp} è la potenza)
- E_{FEM} è l'energia fornita dal generatore alle cariche elettriche (P_{FEM} è la potenza)

Introducendo la caduta di tensione sulla resistenza interna il rendimento assume la forma:

$$\eta_G = \frac{P_{ddp}}{P_{FEM}} = \frac{E - R_i \cdot I}{E}$$



Equivalentemente si può arrivare a scrivere il rendimento anche nella forma:

$$\eta_G = \frac{P_{ddp}}{P_{FEM}} = \frac{U}{U + R_i \cdot I}$$

Un'ultima considerazione prima di vedere qualche esempio, mentre il potenziale ai capi del generatore cambia al variare della corrente, la Forza Elettro Motrice non cambia, è il valore del potenziale fornito dal costruttore.

Esercizi

Esercizio 1:

Un generatore con una FEM $E=100V$ e resistenza interna $R_i=4\Omega$ eroga una corrente $I=2A$. Determinare il valore della ddp ai suoi capi e il rendimento elettrico del generatore.

Dati

$$R_i = 4 \Omega$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$E = 100 \text{ V}$$

Soluzione

$$U = E - R_i \cdot I = 100 \text{ V} - 4 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 100 \text{ V} - 8 \text{ V} = 92 \text{ V}$$

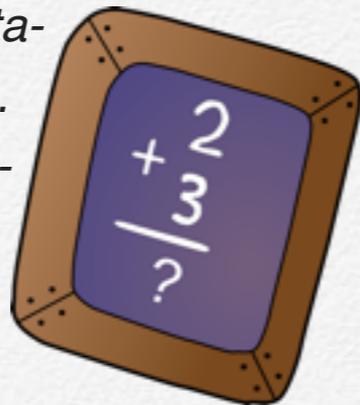
$$\eta = \frac{E - R_i \cdot I}{E} = \frac{100 \text{ V} - 4 \Omega \cdot 2 \text{ A}}{100 \text{ V}} = \frac{100 \text{ V} - 8 \text{ V}}{100 \text{ V}} = \frac{92}{100} = 0,92$$

$$\eta(\%) = \eta \cdot 100 = 0,92 \cdot 100 = 92 \%$$

Esercizio 2:

Un generatore ha una FEM $E=20\text{V}$, viene collegato ad un circuito e si misura la tensione presente ai capi del generatore al variare della corrente assorbita. I risultati sono riportati nella tabella a fianco. Disegnare il grafico e determinare il valore della resistenza interna del generatore.

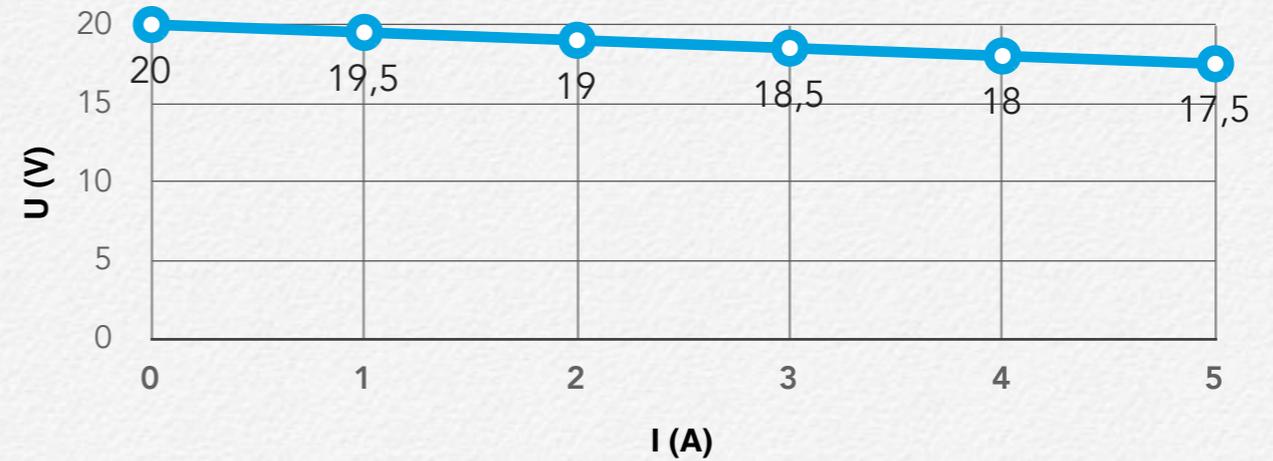
I (A)	U (V)
1	19,5
2	19
3	18,5
4	18
5	17,5



Dati

$$E = 20 \text{ V}$$

Soluzione



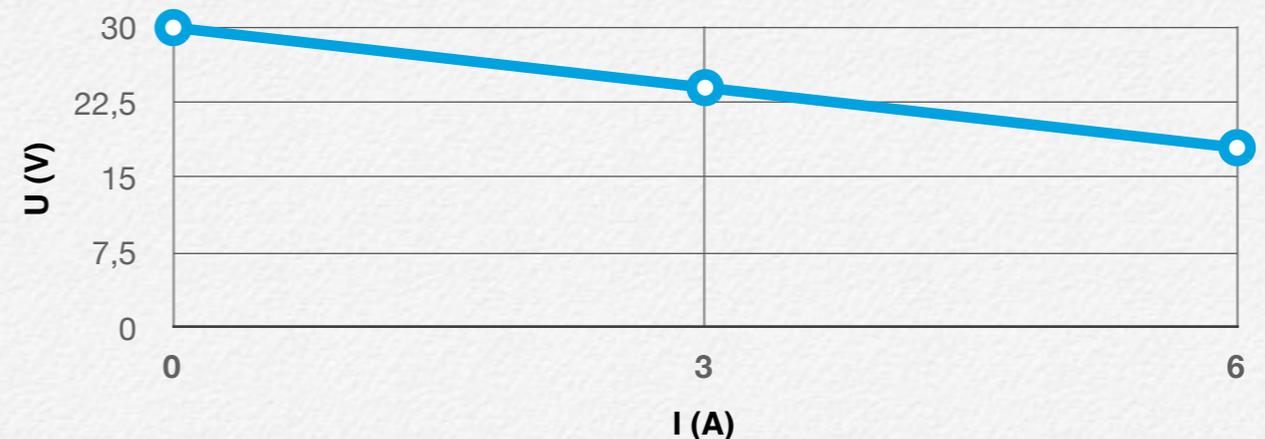
Si disegna il grafico della tensione (y) al variare della corrente (x), si fa notare che la tensione quando $I=0\text{A}$ coincide con la FEM (si trascura la corrente che circola nel voltmetro!).

Il calcolo della resistenza viene effettuato invertendo la formula che lega U ed E, si prendono i dati della seconda riga.

$$R_i = \frac{E - U}{I} = \frac{20 \text{ V} - 19 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 0,5 \Omega$$

Esercizio 3:

Un generatore presenta una tensione $U=24\text{V}$ quando



La corrente di corto circuito per un generatore reale

Prerequisiti

1. Legge di ohm
2. Resistenza di un cavo
3. Resistenza interna di un generatore

Si è già parlato di cortocircuito nel caso di generatori ideali: la corrente elettrica raggiunge valori tali da provocare il surriscaldamento del conduttore. L'unico sistema che si avvicina al comportamento di un generatore ideale (in grado di rifornire tutta la corrente richiesta) è la centrale elettrica. Il generatore di un impianto elettrico, cioè la centrale elettrica, è in grado di fornire tutta la corrente richiesta dall'impianto stesso e in presenza di corto circuito si raggiungono correnti elevate e pericolose.

Differentemente, per i generatori di modeste dimensioni, si pensi ad esempio ad una pila elettrica, la corrente che si può ottenere è limitata anche in presenza di cortocircuito, questo fatto viene spiegato dalla presenza della resistenza interna.

La sua presenza all'aumentare della corrente assorbita provoca un progressivo abbassamento della ddp in uscita dal generatore, confronta con la [relazione tra FEM e ddp](#) di un generatore. Questo significa che più aumenta la corrente e più si abbassa il potenziale e quindi l'energia disponibile per l'utilizzatore. Per la verifica della diminuzione della corrente di cortocircuito si riprende l'esem-

pio presentato al capitolo precedente dono al posto del generatore ideale si utilizza un generatore reale (dotato di resistenza interna).

Esercizio 1:

Una prolunga da cantiere ($U=230V$) subisce uno schiacciamento nei pressi dell'utilizzatore. A causa di ciò fase e neutro vengono in contatto provocando un cortocircuito. Sapendo che la prolunga ha lunghezza $l=50m$, è composta da cavi di rame della sezione $2,5mm^2$ stabilire la corrente di cortocircuito che si ottiene nel caso in cui la resistenza complessiva (quella dei cavi e della linea) vale $R=6,8\Omega$.

Dati

$$U = 230V$$

$$R_i=6,8\Omega$$

Soluzione

corrente di cortocircuito

$$I = \frac{U}{R_L} = \frac{230V}{6,8\Omega} = 33,8A$$

Questo esempio mostra che la corrente prodotta da un cortocircuito in presenza di un'elevata resistenza interna è ben lontana dai valori ipotizzati nel caso di generatori

ideali. I generatori che si avvicinano a questo comportamento sono ad esempio le pile elettrochimiche, nel loro caso non si hanno mai correnti di corto circuito di valore significativo a causa proprio della loro limitata capacità di erogare corrente (si può pensare alla presenza di un'elevata resistenza interna).

Diversamente, nel caso di maggior interesse per gli argomenti che riguarda l'utilizzo della rete come generatore, il valore della resistenza interna è talmente piccolo da portare ad avere correnti di corto circuito molto elevate (simili a quelle dei generatori ideali) e limitate esclusivamente dai valori di resistenza dei cavi elettrici coinvolti.

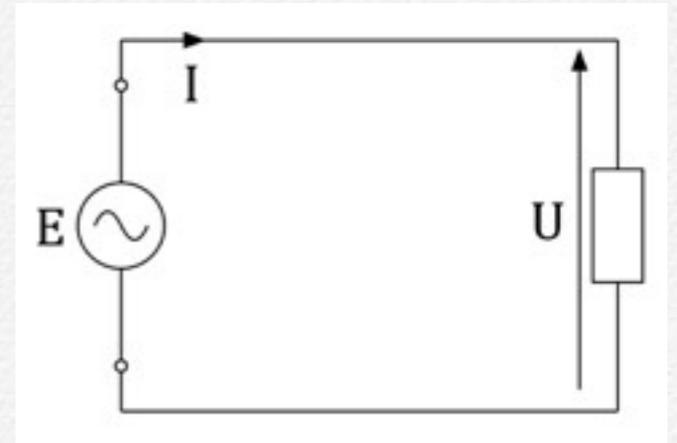


Serie e Paralelo

Possibili collegamenti tra 2 componenti

Prerequisiti: Nessuno

Nei precedenti capitoli si è parlato di un impianto semplificato formato da generatore, circuito e utilizzatore e lo studio si è concentrato sulla conoscenza delle grandezze fondamentali quali tensione, corrente e resistenza oltre, ovviamente, che dell'energia.



Nella realtà i circuiti sono più complessi nel senso che sono composti da un maggior numero di componenti collegati tra di loro o ad uno stesso generatore possono essere collegati anche più circuiti. In realtà già con la semplice introduzione della resistenza di un cavo e della resistenza interna di un generatore si è aumentata la complessità dell'impianto senza però aver spiegato come affrontarla.

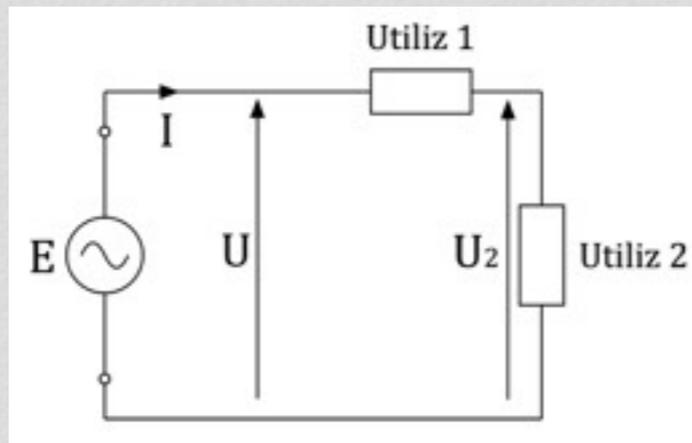
In questo e nel prossimo capitolo si presentano i principi e le strategie che si possono utilizzare per analizzare i circuiti complessi. Di fatto analizzare un impianto (una

rete elettrica) ha lo scopo, per quanto è possibile, di determinare in ogni punto dell'impianto il valore delle grandezze che lo caratterizzano cioè tensione e corrente.

Attenzione all'uso delle formule

Il punto di partenza rimangono comunque le leggi studiate finora, legge di ohm, di Joule e il calcolo della potenza; si tratta di relazioni sempre valide per le quali però si deve prestare più attenzione nella loro applicazione. Se

si pensa al circuito più semplice si ha solo un valore di tensione (lo stesso per generatore e utilizzatore) e con la legge di ohm si può calcolare il valore della corrente che esce dal generatore ed entra nell'utilizzatore. In altre parole con una



Nell'applicazione delle leggi si deve prestare attenzione a quali grandezze vanno usate, ad esempio per applicare le leggi sull'utilizzatore 2 si deve usare U_2 e non si può usare U

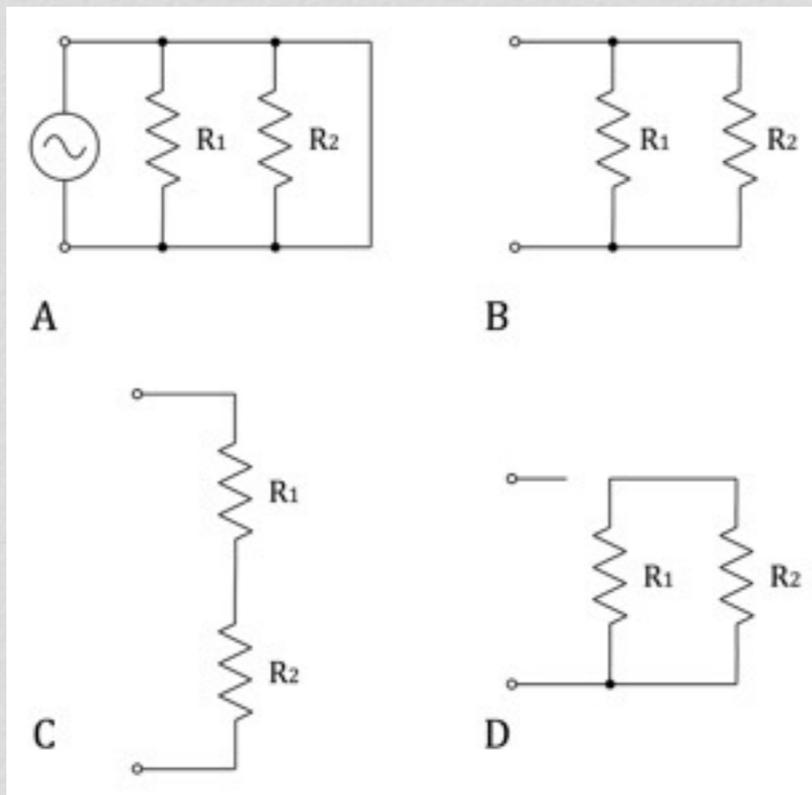
sola tensione e una sola resistenza i calcoli sono immediati.

Nell'immagine di figura si vede invece un circuito più complesso dove si hanno più valori di resistenza (più utilizzatori) e di tensione, questo significa che l'applicazione della legge di ohm, o della legge di Joule non sono più così immediate; in situazioni del genere si deve sempre far attenzione a quale tensione e a quale resistenza ci si riferisce.

I possibili collegamenti di due componenti

Volendo inserire nello stesso circuito due utilizzatori (in questi esempi l'utilizzatore sarà rappresentato da un resistore) e lasciando piena libertà di collegamento può capitare di individuare un gran numero di circuiti apparentemente differenti tra loro. Nella [Figura 7.1](#) vengono riportati alcuni dei possibili collegamenti tra due utilizzatori e un generatore, per comodità il generatore è stato disegnato solo nel caso A, in tutti gli altri pur non disegnandolo si sono messi in evidenza i morsetti ai quali lo si vuole collegare.

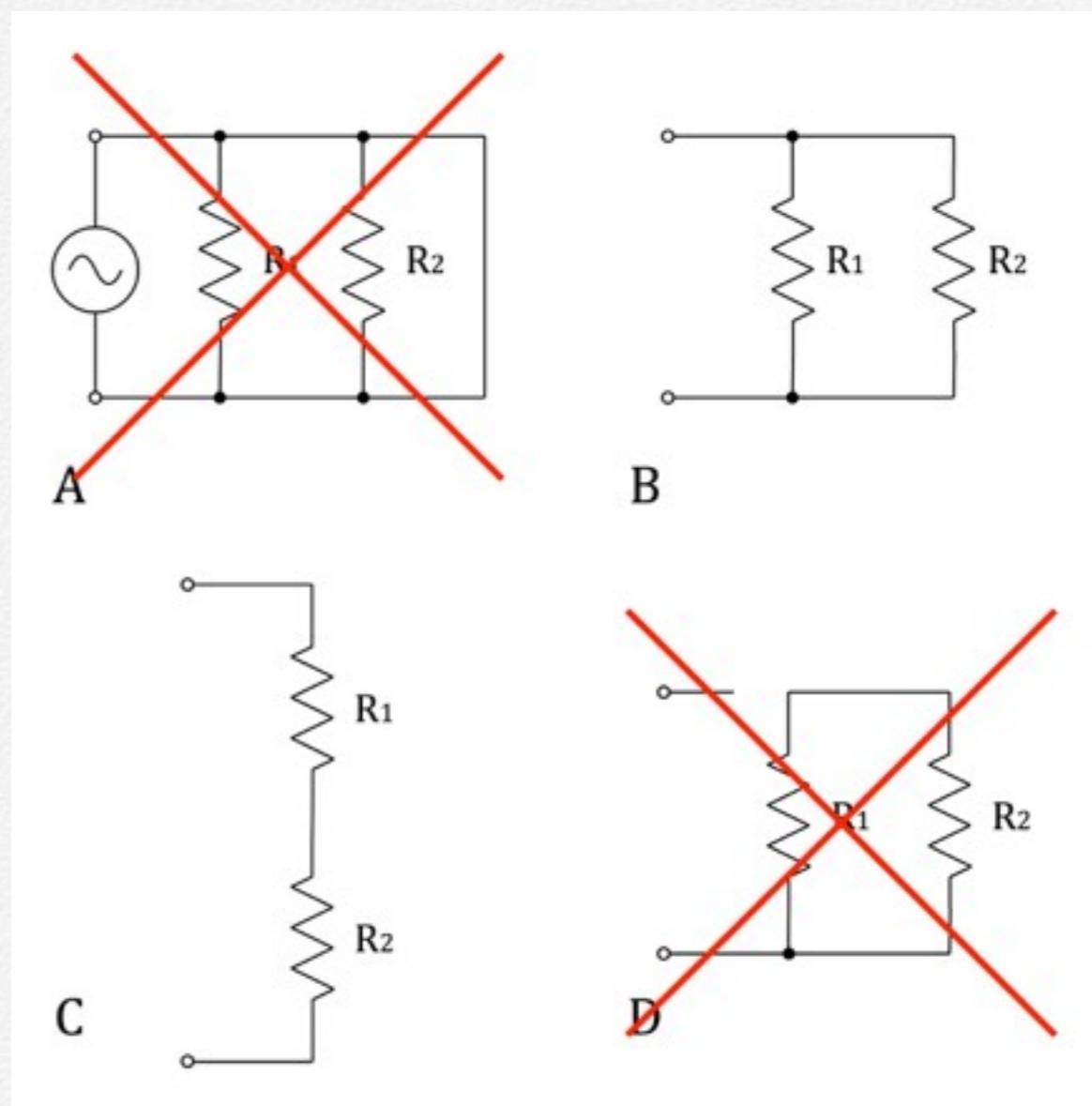
FIGURA 7.1



Riguardando tutti i casi mostrati in [figura 7.1](#) ci si accorge che alcuni non sono accettabili, cioè per quella che è la “filosofia” del circuito elettrico sono assurdi, altri inutili perché in realtà sono un doppione di quelli già considerati. Per eliminare tutto il superfluo ci si può far aiutare dai seguenti accorgimenti:

- gli schemi che presentano un cortocircuito non possono essere accettati (caso A)

- gli schemi che presentano tutto o una parte del circuito aperto sono da scartare (caso D)
- i circuiti che risultano schematicamente equivalenti ad altri si possono eliminare, esempi di questi casi si ve-



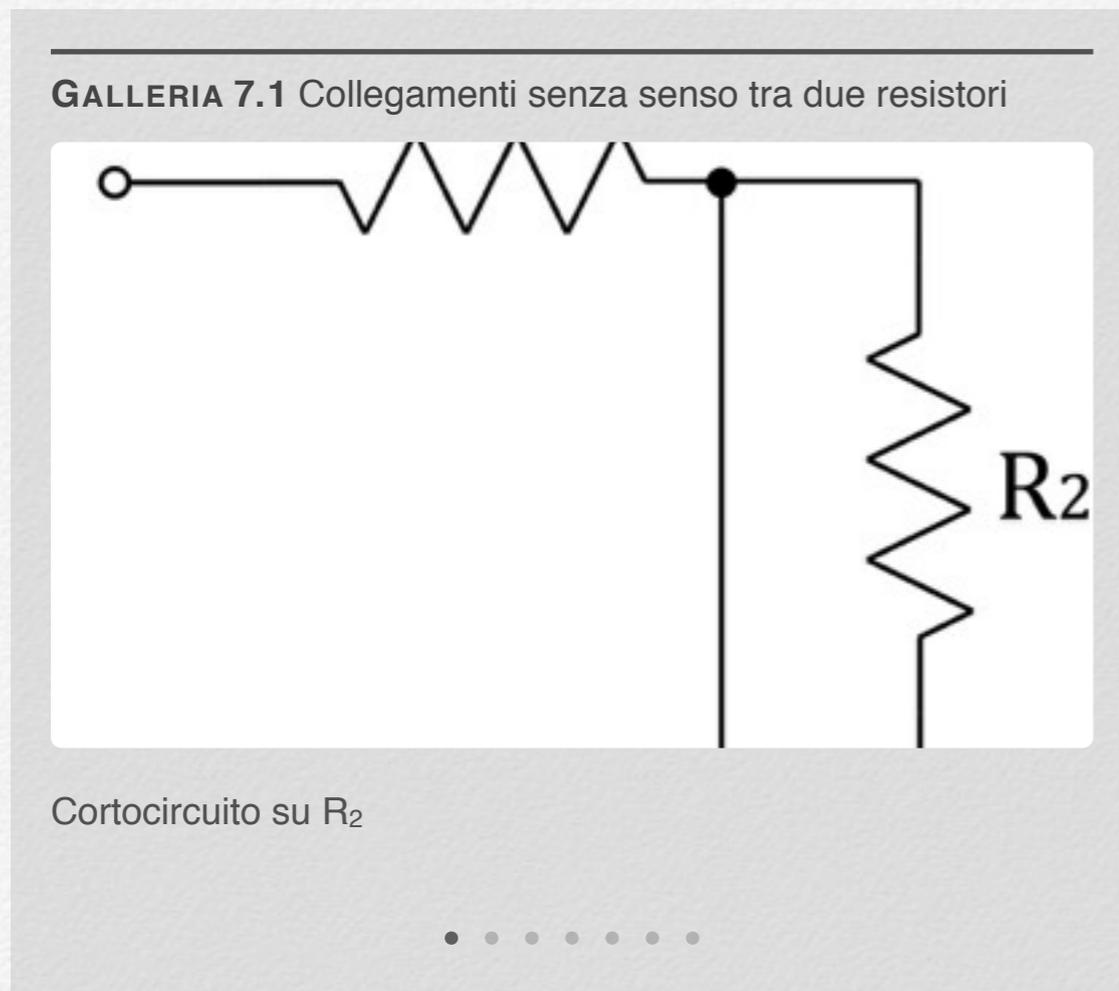
dranno nelle prossime sezioni. Sono equivalenti quando:

- attraverso uno spostamento dei componenti si mantiene lo stesso collegamento elettrico
- se si inverte l'ordine di collegamento dei componenti il risultato non cambia a patto di mantenere i collegamenti corretti

Tenendo in considerazione questi accorgimenti tra i 4 circuiti presentati in [Figura 7.1](#) ne rimangono solo 2.

In generale due componenti possono essere collegati solo in due modi differenti, qualunque altro collegamento risulterà equivalente ai due già presentati; questi collegamenti prendono il nome di collegamento serie e collegamento parallelo.

Di seguito viene mostrata una gallerie di circuiti che non hanno un senso elettrico, in alcuni casi solo una parte di questi potrebbero avere un'utilità pratica.



Circuito Serie

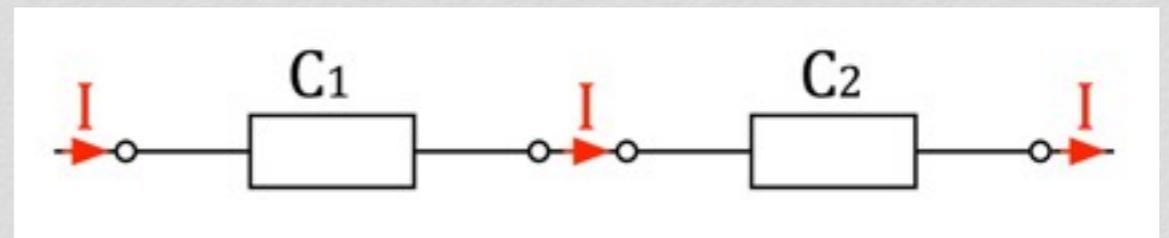
Prerequisiti

1. Legge di Ohm

Due componenti si dicono collegati in serie quando sono attraversati dalla stessa corrente, cioè quando le cariche che attraversano un componente sono esattamente le stesse che hanno attraversato l'altro componente.

Nell'immagine di figura è evidente che poiché le cariche si muovono solo nei conduttori sono costrette, una volta

FIGURA 7.2 Rappresentazione classica del collegamento serie



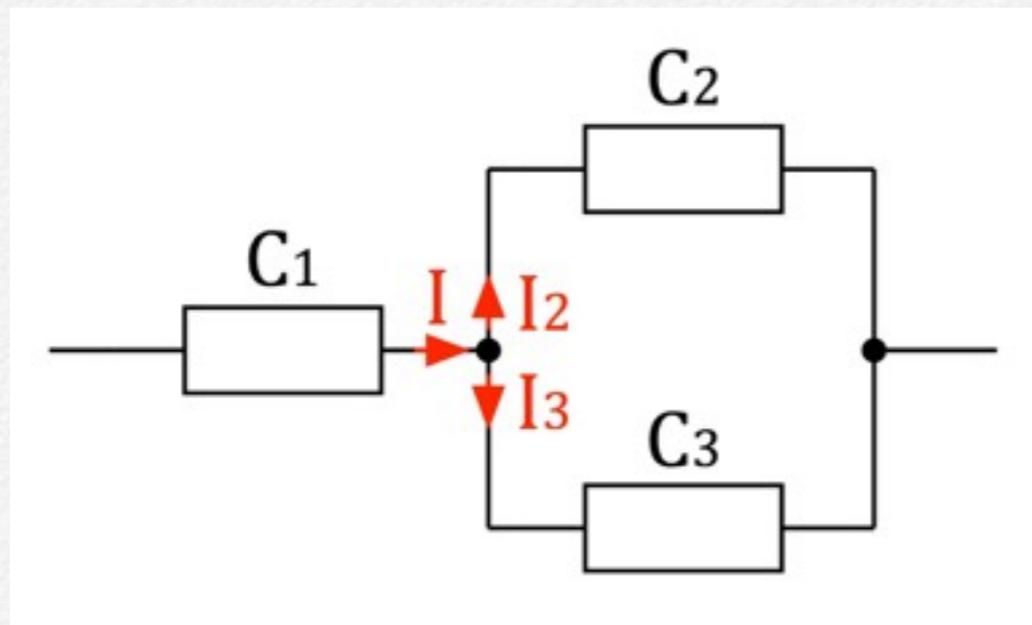
uscite dal primo componente, ad attraversare il secondo, non hanno alternativa.

Definizione pratica

Questo ci permette di caratterizzare il circuito serie anche attraverso il collegamento fisico tra i componenti:

due componenti sono collegati in serie quando l'uscita del primo si collega esclusivamente all'ingresso del secondo.

Mentre in [Figura 7.2](#) questo è evidente, nell'esempio che segue il collegamento non è serie perché l'uscita del



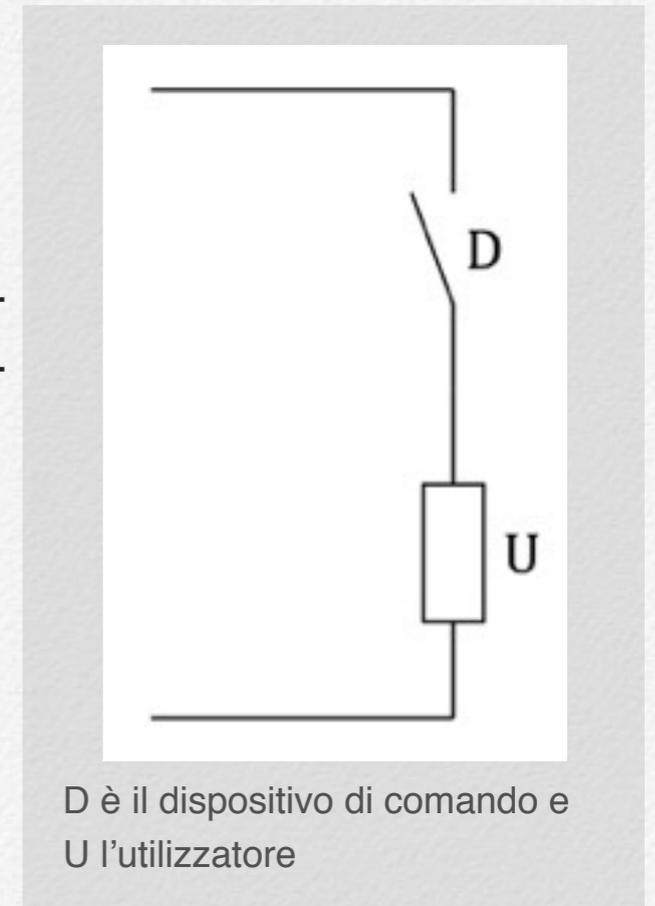
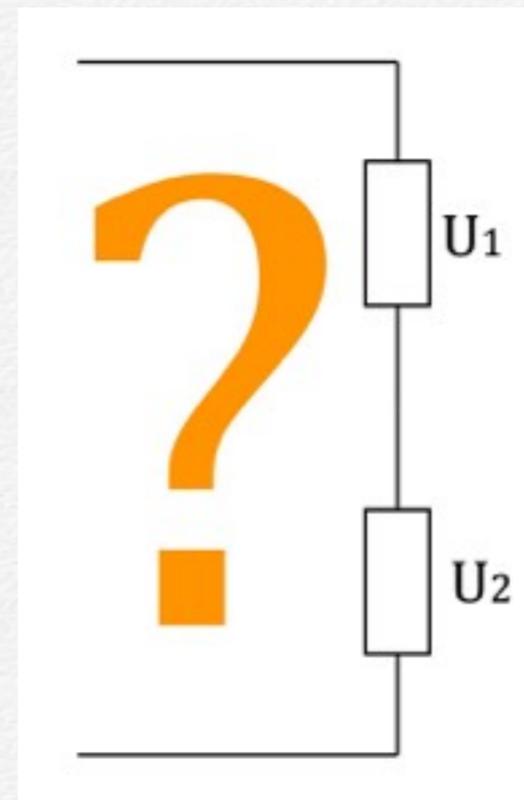
primo componente si collega all'ingresso del secondo ma anche a qualcos'altro. In altre parole la corrente che attraversa il componente C1 non è la stessa corrente che attraversa il componente C2.

Conseguenze del collegamento

Il circuito serie è a tutti gli effetti un circuito unico nel senso che la corrente erogata dal generatore ha solo una

strada da percorrere, se improvvisamente uno dei due componenti smette di funzionare nel senso che non lascia passare la corrente elettrica allora le cariche non passeranno neanche nel secondo componente.

Questo è il motivo per il



D è il dispositivo di comando e U l'utilizzatore

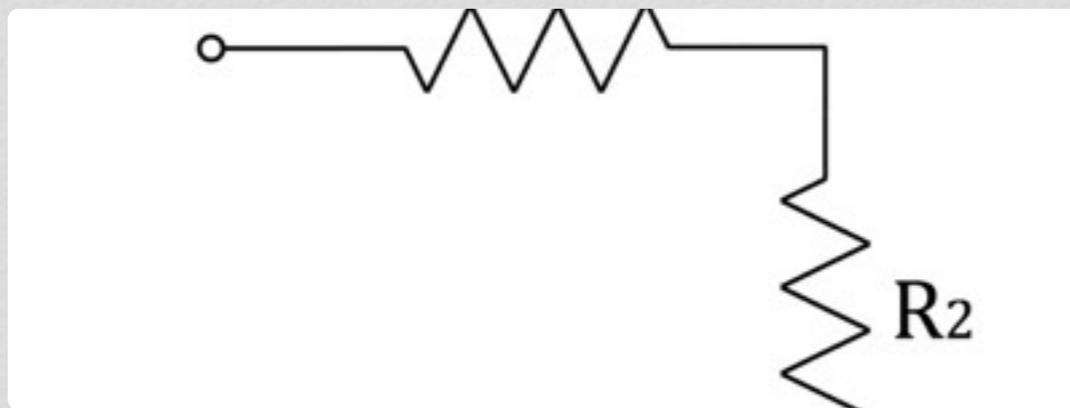
quale i dispositivi di comando di un utilizzatore devono essere collegati in serie all'utilizzatore stesso, in questo modo agendo sul dispositivo, interrompendo il circuito, la corrente non circolerà neanche nell'utilizzatore. Al contrario il collegamento serie tra utilizzatori

non viene quasi mai utilizzato, sono rarissimi i casi nei quali due componenti utilizzatori vengono collegati in serie. Quando si vede un collegamento di questo tipo bisogna sempre chiedersi se è un errore o se effettivamente ha un suo significato.

Circuito serie e tensione

Due componenti collegati in serie non sono sottoposti al medesimo potenziale, la tensione ai loro capi potrebbe avere lo stesso valore numerico ma non sarà comunque lo stesso potenziale.

GALLERIA 7.2 Collegamenti serie tra resistenze



Al conduttore di R_2 è stata imposta una curva ma risultano ancora in serie, la corrente che attraversa le due resistenze è la stessa.

• • • • •

Resistenze collegate in serie

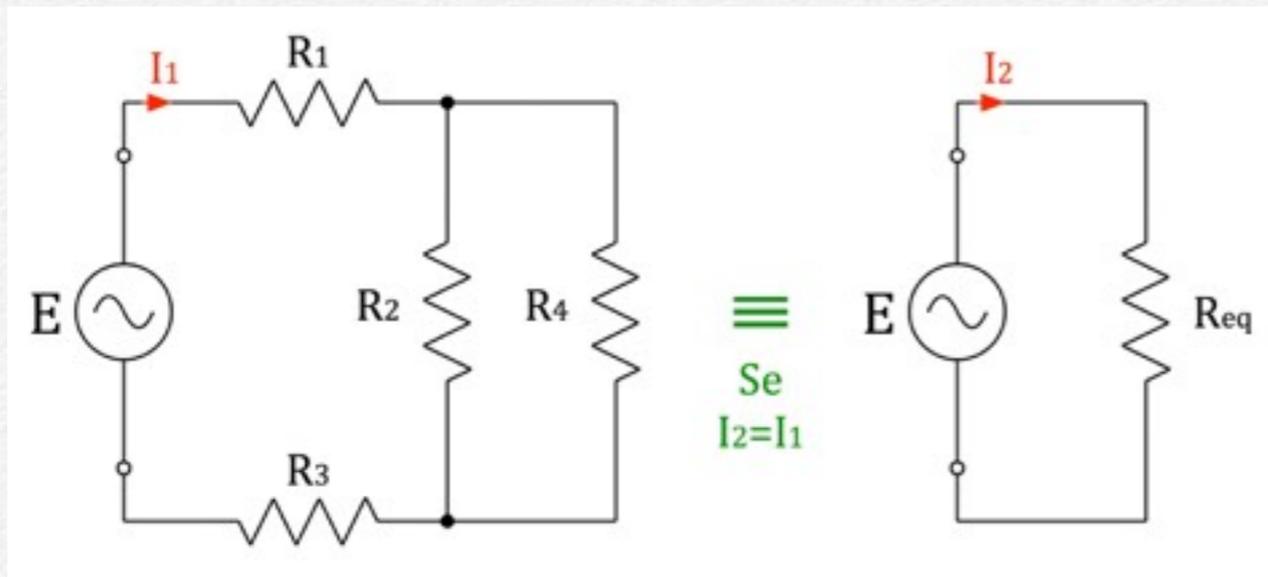
Mentre per gli utilizzatori il collegamento serie non è mai utilizzato, quando entrano in gioco le resistenze questo collegamento acquista maggior senso, si pensi ad esempio di collegare uno dopo l'altro dei cavi elettrici, ognuno equivale ad una resistenza e sono collegati in serie. In [Galleria 7.2](#) sono presentati circuiti serie tra loro equivalenti perché derivano da una semplice modifica del disegno classico per il circuito serie che non altera la funzionalità del circuito stesso; se al posto delle resistenze ci fosse un qualunque altro componente si tratterebbe di collegamenti serie.

Equivalenza dei circuiti

L'analisi di un circuito come si è già accennato consiste nel determinare per quanto è possibile tutte le correnti e le tensioni (o almeno quelle che interessano) presenti al suo interno. Ovviamente il primo dato che si vuole conoscere è il valore della corrente che lo attraversa e in un circuito puramente resistivo, cioè composto da sole resistenze, per far questo si deve determinare il valore della resistenza equivalente.

Si è introdotto l'importante concetto di equivalenza tra circuiti, diremo che:

due circuiti sono equivalenti quando applicando ad essi lo stesso valore di tensione vengono attraversati dallo stesso valore di corrente



Nell'esempio di figura i due circuiti sono equivalenti quando a parità di E (potenziale del generatore) le due correnti sono uguali. Non importa quanto complessi possono risultare i circuiti, il loro circuito equivalente sarà formato dal generatore e da una sola resistenza, di valore opportuno che dipende dal circuito, chiamata resistenza equivalente R_{eq} . In questo senso risolvere un circuito si-

gnifica, almeno come primo passo, calcolare il valore della R_{eq} .

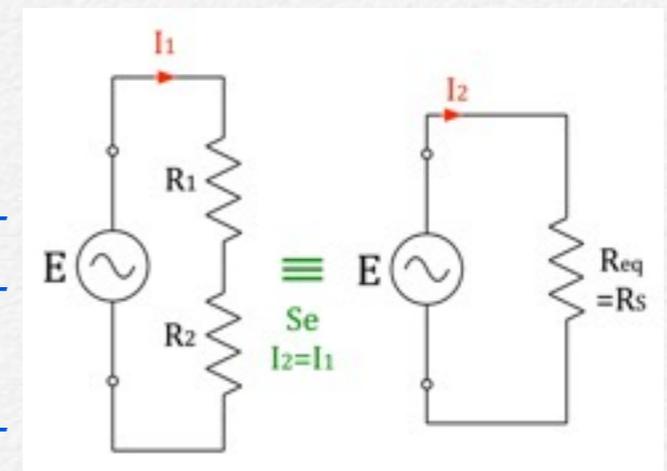
L'equivalente del circuito serie

Prima di mostrare il valore che deve avere la resistenza equivalente, un piccolo esempio può aiutare a comprendere e memorizzare la formula.

Si immagini per semplicità di avere un circuito formato da un generatore ($U=20V$) e una resistenza di valore $R=10\Omega$, la legge di ohm permette di stabilire il valore della corrente:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20V}{10\Omega} = 2A$$

Se ora alla resistenza data si aggiunge una nuova resistenza collegata in serie (la si collega in uscita alla prima) è logico pensare che la resistenza complessiva aumenti con la conseguente diminuzione della corrente che in esso vi cir-



cola. Il motivo è semplice, collegando in serie due resistenze tutte le cariche che formano la corrente sono costrette ad attraversare entrambi gli ostacoli e quindi incontrano una resistenza maggiore. Per i cavi succede esattamente la stessa cosa, se aumento la lunghezza del cavo aumento anche la sua resistenza.

Il circuito con due resistenze collegate in serie è equivalente ad un circuito con un'unica resistenza di valore superiore ai valori delle singole resistenze, il valore di questa resistenza si chiama banalmente $R_S (=R_{eq})$.

La dimostrazione del risultato finale è strettamente legato al fatto che nei due componenti circola la stessa corrente, in mancanza di questa condizione non si avrebbe il circuito serie e questa formula perderebbe di significato. Questa è la formula per il calcolo della resistenza equivalente di un circuito serie:

$$R_S = R_1 + R_2$$

Esercizi

Esercizio 1:

Due resistenze di valore $R_1=20\Omega$ e $R_2=30\Omega$ sono collegate in serie. Determinare la loro resistenza equivalente

Dati

$$R_1 = 20 \Omega$$

$$R_2 = 30 \Omega$$

Soluzione

$$R_S = R_1 + R_2 = 20\Omega + 30\Omega = 50\Omega$$

Esercizio 2:

Determinare il valore della resistenza equivalente nel caso in cui due resistori $R_1=100\Omega$ e $R_2=1K\Omega$ vengano collegati in serie.

Dati

$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 1 K\Omega = 1000 \Omega$$

Soluzione

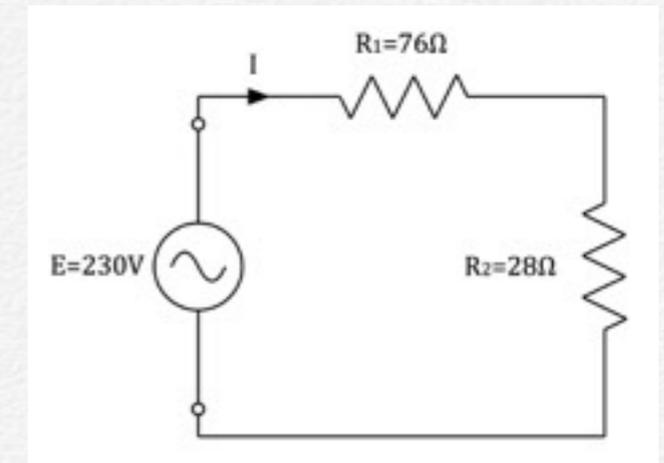
$$R_S = R_1 + R_2 = 100\Omega + 1000\Omega = 1100\Omega = 1,1K\Omega$$

Esercizio 3:

Dato il circuito di figura, determinare il valore di corrente erogato dal generatore.

Dati

$$R_1 = 76 \Omega$$



$$R_2 = 28 \Omega$$

$$E = 230V$$

Soluzione

Calcolo la resistenza equivalente

$$R_S = R_1 + R_2 = 76\Omega + 28\Omega = 104\Omega$$

Conviene sempre ridisegnare il circuito equivalente dopo ogni calcolo, sarà il circuito su cui si andranno a svolgere i nuovi calcoli.

Usando la legge di Ohm calcolo la corrente erogata dal generatore

$$I = \frac{E}{R} = \frac{230V}{104\Omega} = 2,21A$$

Collegamento di più resistenze in serie

Nel caso in cui ci dovessero essere più resistenze collegate in serie vale una formula simile a quella per il calcolo della resistenza equivalente per la serie di due resistenze; la resistenza complessiva di più resistenze collegate in serie è data dalla somma dei valori delle singole resistenze:

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Esercizi

Esercizio 1:

Tre resistenze di valore $R_1=38\Omega$, $R_2=25\Omega$ e $R_3=6\Omega$ sono collegate in serie. Determinare la loro resistenza complessiva

Dati

$$R_1 = 38 \Omega$$

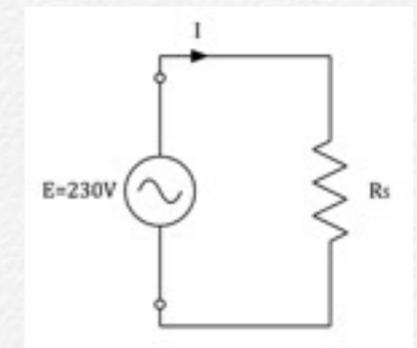
$$R_2 = 25 \Omega$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

Soluzione

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 = 38\Omega + 25\Omega + 6\Omega = 69\Omega$$

Esercizio 2:



Determinare il valore della resistenza equivalente per quattro resistori collegati in serie nel caso in cui abbiano i seguenti valori $R_1=12\Omega$, $R_2=21\Omega$, $R_3=8\Omega$ e $R_4=16\Omega$.

Dati

$$R_1 = 12 \Omega$$

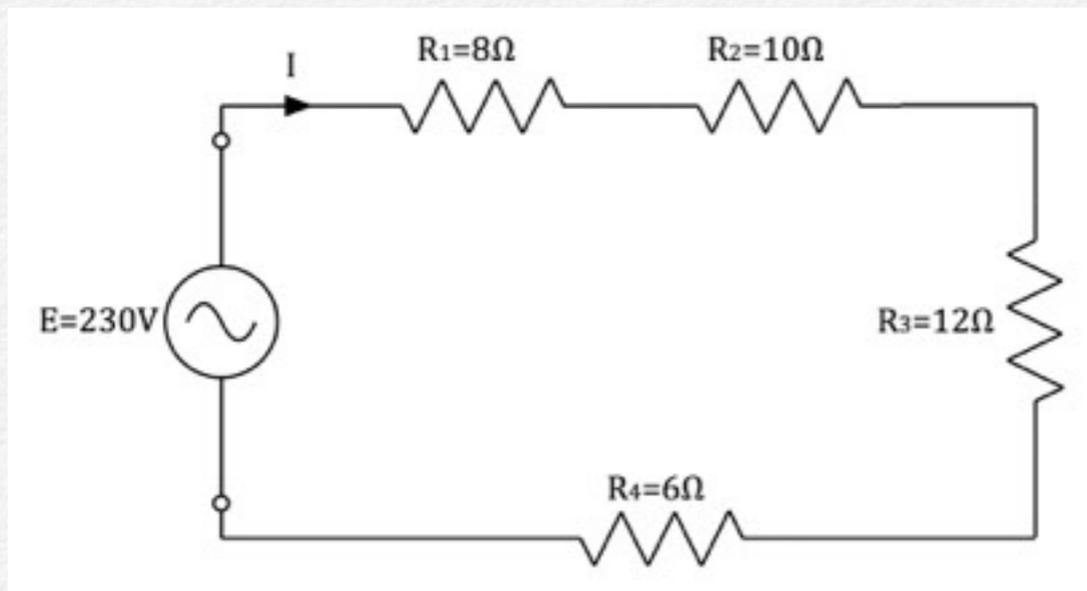
$$R_2 = 21 \Omega$$

$$R_3 = 8 \Omega$$

$$R_4 = 16 \Omega$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R_S &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \\ &= 12\Omega + 21\Omega + 8\Omega + 16\Omega = 57\Omega \end{aligned}$$



Esercizio 3:

Determinare il valore della corrente erogata dal generatore nel circuito di figura.

Dati

$$R_1 = 33 \Omega$$

$$R_2 = 15 \Omega$$

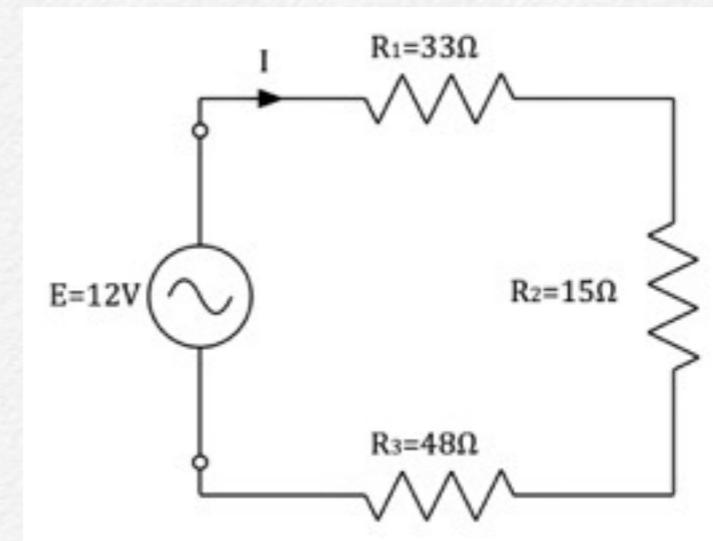
$$R_3 = 48 \Omega$$

$$E = 12 V$$

Soluzione

Calcolo la resistenza equivalente serie

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 = 33\Omega + 15\Omega + 48\Omega = 96\Omega$$

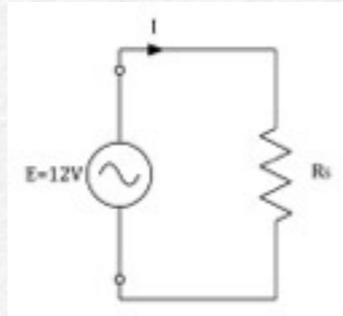


Usando la legge di Ohm calcolo la corrente erogata dal generatore

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12V}{96\Omega} = 0,125A$$

Esercizio 4:

Determinare la potenza disponibile al generatore per il circuito di figura e sempre per lo stesso circuito determinare l'energia dissipata per effetto Joule dalla resistenza R_3 .



Dati

$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ K}\Omega = 1000 \Omega$$

$$R_3 = 100 \Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ K}\Omega = 1000 \Omega$$

Soluzione

Calcolo della resistenza equivalente

$$\begin{aligned} R_S &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \\ &= 8\Omega + 10\Omega + 12\Omega + 6\Omega = \\ &= 36\Omega \end{aligned}$$

Calcolo della corrente che circola nel circuito

$$I = \frac{E}{R_S} = \frac{230V}{36\Omega} = 6,38A$$

La corrente I del circuito equivalente è uguale in valore alla corrente che circola nel circuito originale. Si può calcolare il valore della potenza di lavoro del generatore:

$$\begin{aligned} P_G &= E \cdot I = 230V \cdot 6,38A = \\ &= 1467,4W \end{aligned}$$

Poiché tutte le resistenze sono in serie I è anche la corrente che circola nella R_3 . Si calcola la potenza dissipata per effetto Joule dalla resistenza R_3 :

$$\begin{aligned} P_{R_3} &= R_3 \cdot I^2 = 12\Omega \cdot (6,38A)^2 = \\ &= 488,45W \end{aligned}$$

Generatori collegati in serie***

Il collegamento serie può essere ovviamente esteso a tutti i componenti compresi i generatori.

Questo caso è molto raro nell'impiantistica, più frequente invece nel mondo dell'elettronica. L'esempio che si riporta è quello delle pile, cioè di generatori di tensione continua che hanno quindi una polarità.

Se due generatori collegati in serie sono concordi la loro ddp si somma, al contrario se due generatori di tensione collegati in serie sono discordi la tensione si sottrae. Poiché i due generatori non hanno la stessa capacità di erogare corrente elettrica, comanda il generatore più "debole", cioè la corrente massima che il sistema può erogare è stabilita dal generatore che è in grado di erogarne meno.

Un esempio di applicazione lo si può avere quando un circuito ha bisogno di essere alimentato con un potenziale e le pile che sono in commercio non raggiungono quel potenziale, collegando in serie più pile possibilmente dello stesso tipo si possono sommare i singoli potenziali fino ad arrivare a soddisfare le esigenze dell'utilizzatore.

Si ricorda in questo caso che i potenziali del generatore e dell'utilizzatore devono essere uguali.

Il risultato può essere esteso anche a generatori di tensione alternata facendo attenzione alla fase della tensione, concetto che verrà ripreso più avanti.

Un'analisi più accurata delle implicazioni di un eventuale collegamento in serie o in parallelo di generatori richiederebbe ad esempio

Circuito Parallelo

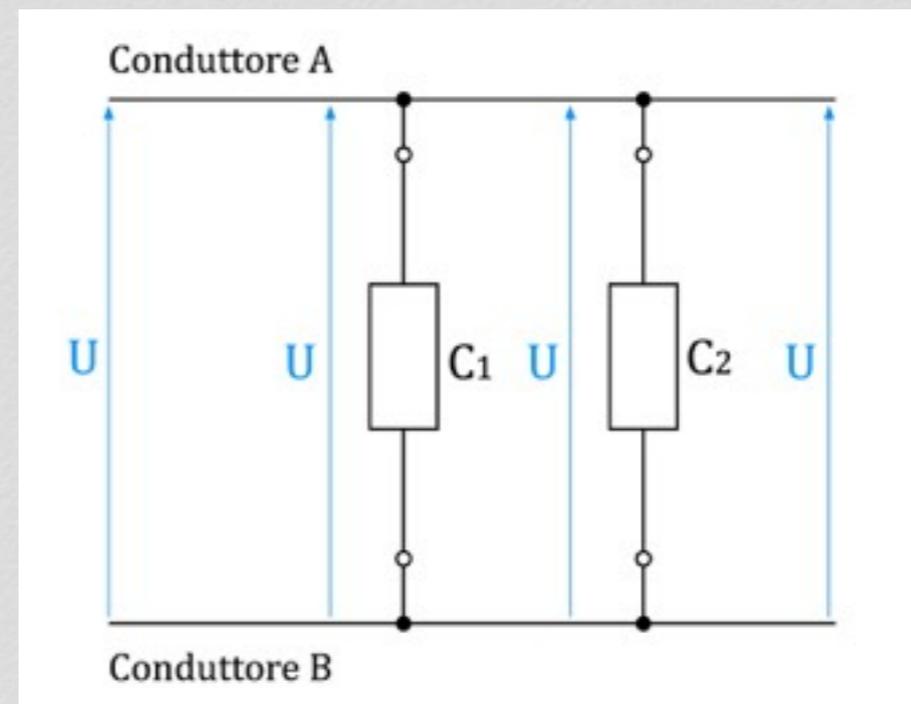
Prerequisiti

1. Legge di Ohm

Due componenti si dicono collegati in parallelo quando sono collegati alla medesima differenza di potenziale, non deve essere semplicemente lo stesso valore ma i due componenti devono prendere energia dagli stessi conduttori.

Nella figura il conduttore A si trova ad un dato potenziale (tutto il conduttore si trova al medesimo potenziale), in conduttore B si trova ad un'altro potenziale (su tutto il

FIGURA 7.3 Tipica rappresentazione del collegamento parallelo



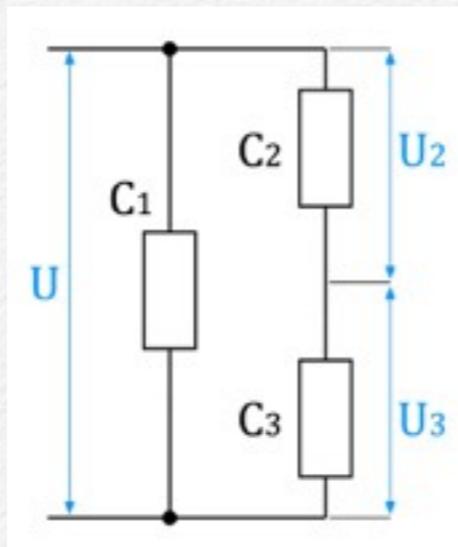
conduttore c'è lo stesso potenziale) quindi i due componenti sono sottoposti alla medesima ddp.

Definizione pratica

Anche in questo caso è possibile individuare una definizione pratica di questo collegamento, in realtà è già sottintesa nella definizione precedente ma viene ripresa per evitare fraintendimenti:

due componenti sono collegati in parallelo quando hanno i loro morsetti collegati ai medesimi conduttori, in altre parole quando l'ingresso del primo componente è collegato al medesimo conduttore dell'ingresso del secondo e quando l'uscita del primo componente è collegata al medesimo conduttore dell'uscita del secondo.

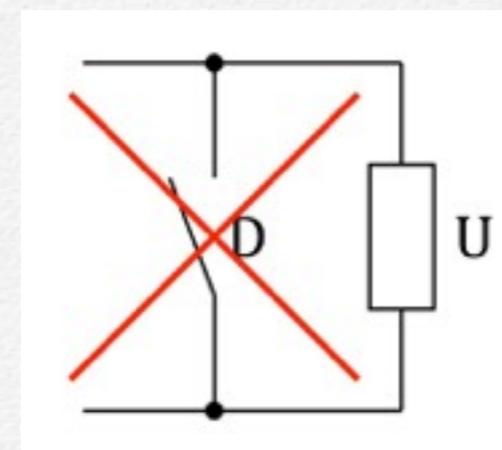
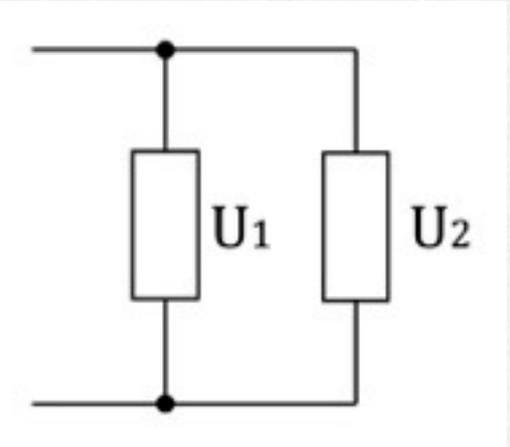
Nell'esempio di figura il componente C_1 non è collegato in parallelo a C_2 in quanto solo uno dei due morsetti si collega a C_2 . La stessa conclusione vale per il componente C_3 . In altre parole il



potenziale ai capi di C_1 non è lo stesso potenziale presente ai capi di C_2 o C_3 .

Conseguenze del collegamento

In questo tipo di circuito l'interruzione di uno dei componenti non influisce sul funzionamento dell'altro, risulta quindi utile quando si vogliono componenti che funzionino indipendentemente l'uno dall'altro; la parola parallelo richiama proprio il concetto di due circuiti separati che non si influenzano a vicenda (come due strade parallele che non si incontrano mai). Viene usato ad esempio quando si devono collegare più utilizzatori all'interno di un impianto; se si vuole che ognuno funzioni in autonomia è necessario collegarli in parallelo.

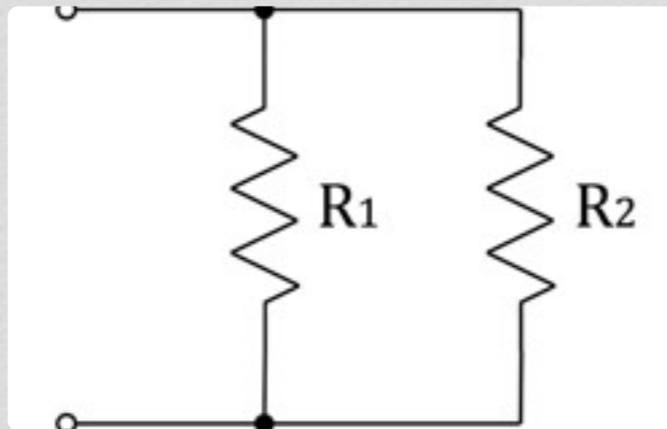


Ad esempio le prese di corrente nelle nostre case sono tra loro collegate tutte in parallelo in modo da poterle usare indipendentemente l'una dall'altra.

Si deve invece evitare il collegamento parallelo tra utilizzatore

e dispositivo di comando (contatto) questo provocherebbe un cortocircuito dell'utilizzatore.

GALLERIA 7.3 Collegamenti parallelo tra resistenze



Classico collegamento parallelo tra componenti

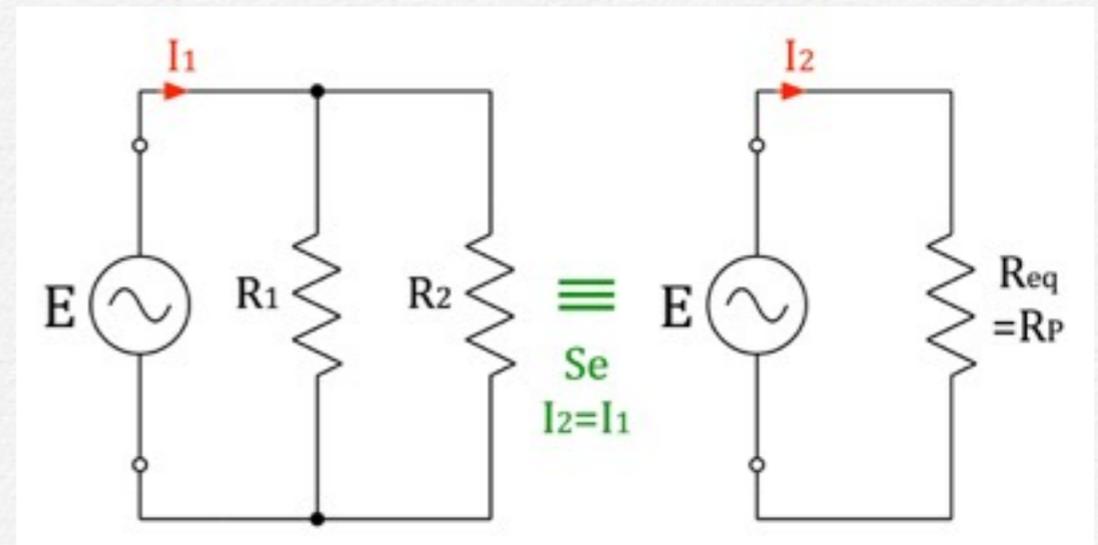
• • • •

Circuito parallelo e corrente

Due componenti collegati in parallelo non sono mai attraversati dalle stesse cariche, la corrente che circola al loro interno potrà anche avere lo stesso valore ma non sarà mai la stessa corrente, non sarà mai la stessa carica.

Resistenze collegate in parallelo

Come per il circuito serie anche per il circuito parallelo ci si può chiedere qual è la sua resistenza equivalente. Come in precedenza prima di scrivere la formula si fa un semplice esempio nella speranza che possa aiutare a capire il comportamento del circuito.



Immaginando di avere un generatore ($U=20V$) collegato inizialmente ad una resistenza ($R=10\Omega$) la corrente erogata dal generatore risulta $I=2A$.

Collegando in parallelo a questa resistenza (ostacolo) un'altra resistenza non si fa altro che offrire un percorso alternativo alle cariche elettriche per attraversare il circuito; questo significa facilitare il passaggio delle cariche, aumentare quindi la corrente e in ultima analisi diminuire il valore della resistenza complessiva. Il paragone col cavo elettrico può ancora aiutarci a capire, se anziché un cavo prendiamo due cavi che fanno lo stesso percorso è come avere un cavo solo ma più largo, in altre parole un cavo di sezione maggiore. Poiché sezione e resistenza di un cavo sono inversamente proporzionali all'aumentare della sezione deve diminuire la resistenza.



La formula per il calcolo della resistenza equivalente è strettamente legata al fatto che nel collegamento parallelo i componenti sono sottoposti al medesimo potenziale, in mancanza di questa condizione non si può parlare di

circuito parallelo e le formule proposte perdono di significato. Per il calcolo della R_P vale la formula:

$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

Attraverso semplici passaggi matematici si può scrivere una formula equivalente facile da memorizzare (anche quella scritta sopra è in verità molto facile da memorizzare) e molto usata nel mondo elettrotecnico

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Esercizi

Esercizio 1:

Due resistenze di valore $R_1=60\Omega$ e $R_2=38\Omega$ sono collegate in parallelo. Determinare la loro resistenza equivalente

Dati

$$R_1 = 60 \Omega$$

$$R_2 = 38 \Omega$$

Soluzione

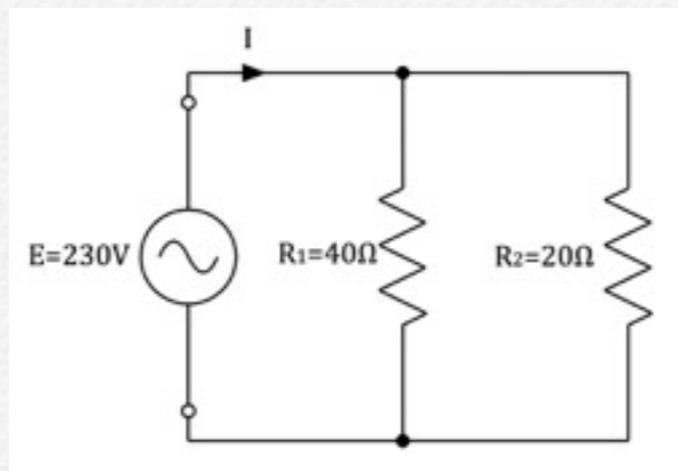
Utilizzando la [prima formula](#) per il calcolo di R_P per 2 resistenze:

$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{60\Omega} + \frac{1}{38\Omega}}$$

$$= \frac{1}{0,0166 + 0,0263} = \frac{1}{0,0429}$$

$$= 23,26\Omega$$

Utilizzando la seconda formula per il calcolo di R_P per 2 resistenze:



$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60\Omega \cdot 38\Omega}{60\Omega + 38\Omega}$$

$$= \frac{2280}{98} = 23,26\Omega$$

Come ha mostrato l'esercizio le due formule sono equivalenti, si consiglia di usarle entrambe alternandole.

Esercizio 2:

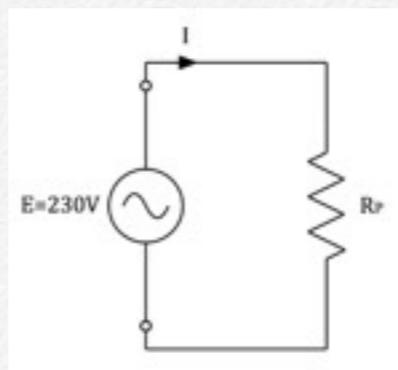
Determinare il valore della resistenza equivalente nel caso in cui due resistori $R_1=300\Omega$ e $R_2=1,5K\Omega$ vengano collegati in serie.

Dati

$$R_1 = 300 \Omega$$

$$R_2 = 1,5 K\Omega = 1500 \Omega$$

Soluzione



$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{300\Omega} + \frac{1}{1500\Omega}}$$

$$= \frac{1}{0,00333 + 0,000666} = \frac{1}{0,004}$$

$$= 250\Omega$$

Esercizio 3:

Dato il circuito di figura, determinare il valore della corrente erogata dal generatore.

Dati

$$R_1 = 40 \Omega$$

$$R_2 = 20 \Omega$$

$$E = 230 V$$

Soluzione

Calcolo la resistenza equivalente parallelo

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40\Omega \cdot 20\Omega}{40\Omega + 20\Omega}$$

$$= \frac{800}{60} = 13,33\Omega$$

Usando la legge di Ohm calcolo la corrente erogata dal generatore

$$I = \frac{E}{R_P} = \frac{230V}{13,33\Omega} = 17,25A$$

Collegamento di più resistenze in parallelo

Nel caso in cui ci dovessero essere più resistenze collegate in parallelo vale una formula simile a quella per il calcolo della resistenza equivalente per il parallelo di due resistenze; la resistenza complessiva di più resistenze collegate in serie è data dall'inverso della somma degli inversi di tutte le resistenze (nella formula i puntini di sospensione significano che si possono aggiungere altre resistenze collegate in parallelo):

$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots}$$

Esercizi

Esercizio 1:

Tre resistenze di valore $R_1=120\Omega$, $R_2=240\Omega$ e $R_3=90\Omega$ sono collegate in parallelo. Determinare la loro resistenza complessiva

Dati

$$R_1 = 120 \Omega$$

$$R_2 = 240 \Omega$$

$$R_3 = 90 \Omega$$

Soluzione

$$\begin{aligned} R_P &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{120\Omega} + \frac{1}{240\Omega} + \frac{1}{90\Omega}} = \\ &= \frac{1}{0,00833 + 0,00416 + 0,01111} = \\ &= \frac{1}{0,0236} = 42,37\Omega \end{aligned}$$

Esercizio 2:

Determin

***Generatori collegato in parallelo

Come per il collegamento serie anche il collegamento parallelo di generatori negli impianti elettrici è evento raro, molto più facile osservarlo per piccole pile o nel mondo dell'elettronica.

È possibile effettuare collegamenti in parallelo quando i generatori hanno il medesimo potenziale, in questo caso il potenziale finale non cambia ma si ha maggiore disponibilità di corrente elettrica.

Questo collegamento può essere utile quando si deve alimentare un circuito e la batteria in commercio ha il potenziale corretto ma non è in grado di erogare la corrente necessaria. Collegando due o più pile dello stesso potenziale in parallelo tra loro si può aumentare la corrente erogabile fino a soddisfare le esigenze del circuito.

Esercizi

Collegamento di Amperometro e Voltmetro

Prerequisiti

1. Legge di Ohm
2. Circuito serie
3. Circuito parallelo

Inserire in questo punto del capitolo un paragrafo sugli strumenti di misura può sembrare strano, in realtà non si ha l'intenzione di spiegarne il funzionamento ma solo di capire come devono essere utilizzati all'interno di un circuito.

GALLERIA 7.4 Voltmetri e Amperometri

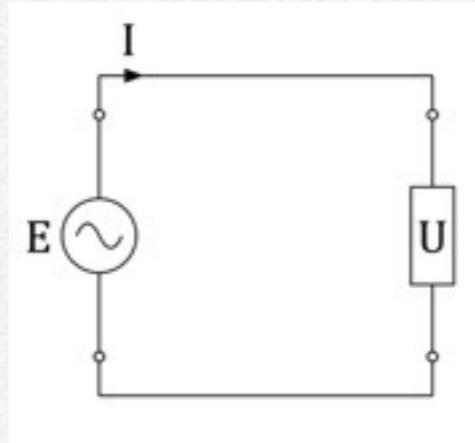


Amperometro

Se impostato correttamente lo strumento rileva la misura e l'operatore ha il solo compito di leggerla correttamente. Risulta però di fondamentale importanza che lo strumento di misura sia collegato correttamente, in caso contrario la misura non può essere corretta e in alcuni casi

si può correre il rischio di danneggiarlo.

Lo strumento di misura è a tutti gli effetti un componente e lo si potrà collegare o in serie o in parallelo all'utilizzatore o al circuito su cui si vuole eseguire la misura. Quale dei due collegamenti si deve utilizzare non dipende dalla situazione ma dallo strumento.



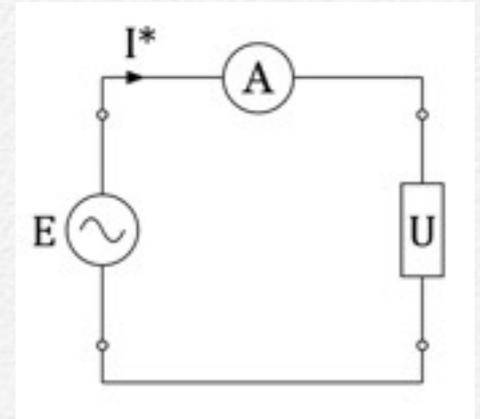
Amperometro

In questo paragrafo parleremo della misura diretta di corrente, nello strumento si dovrà far circolare la corrente elettrica. Le considerazioni che verranno proposte perdono di significato nel caso in cui si ha a che fare con una misura indiretta della corrente come avviene con la pinza amperometrica dove la misura è del campo magnetico causato dalla corrente stessa.

Volendo collegare l'amperometro per misurare la corrente che circola in un componente specifico si hanno solo due possibilità: si collega l'amperometro in serie al componente oppure la si collega in parallelo al componente stesso

Ricordando che nel circuito serie la corrente è uguale nei due componenti mentre nel circuito parallelo rimane costante il potenziale la scelta è obbligata:

l'amperometro deve essere collegato in serie al componente del quale si vuole conoscere la corrente che lo attraversa

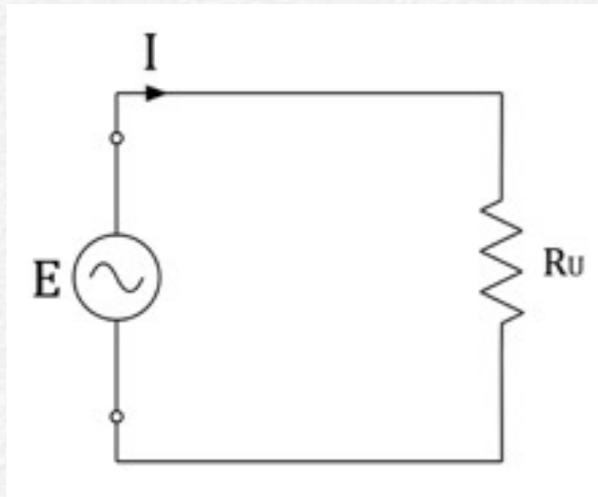


Così facendo la corrente che attraversa l'amperometro e che verrà quindi misurata sarà uguale alla corrente che attraversa il componente in esame.

A questo punto è bene chiarire che, come tutto, anche l'amperometro ha una resistenza interna, inserendolo quindi in un circuito serie si va ad aumentarne la resistenza. Modificare la resistenza complessiva del circuito significa falsare la misura.

Facciamo un semplice esempio con dei valori di pura fantasia, si immagini di avere un circuito composto da un generatore $U=230V$ collegato ad un utilizzatore con



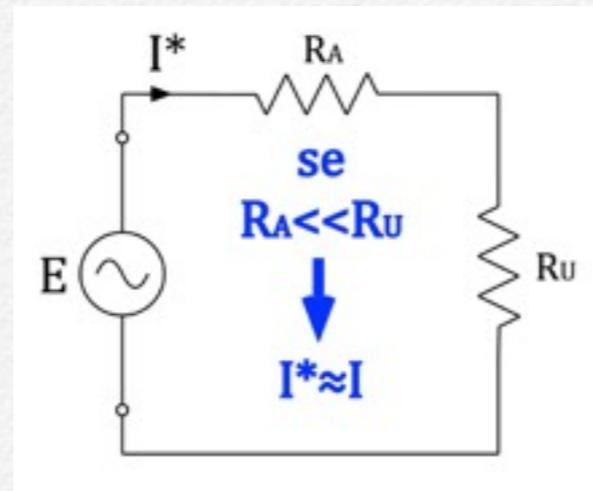


resistenza $R=23\Omega$, in questo caso la corrente che attraversa l'utilizzatore è data dalla legge di Ohm e vale:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230V}{23\Omega} = 10A$$

Se ora si vuole misurare la corrente per verificare se è

uguale a quella appena calcolata si deve inserire un amperometro in serie, immaginando che abbia con resistenza interna $R_A=2\Omega$ la resistenza totale del circuito diventerebbe la somma delle due



$$R_S = R + R_A = 23\Omega + 2\Omega = 25\Omega$$

e applicando nuovamente la legge di Ohm si ottiene la corrente che effettivamente l'amperometro andrà a misurare

$$I^* = \frac{U}{R} = \frac{230V}{25\Omega} = 9,2A$$

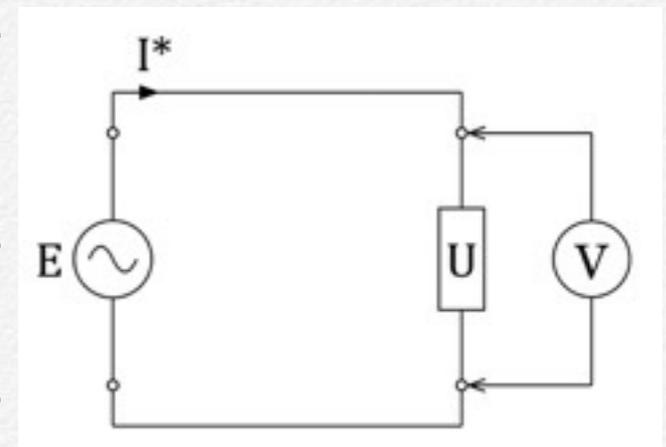
I^* non è la corrente che circolava inizialmente nell'utilizzatore, il circuito è stato modificato!

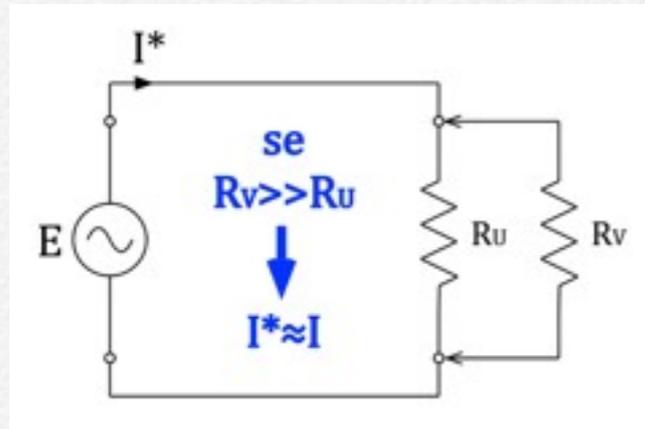
Per effettuare una misura che si avvicini il più possibile al valore vero l'amperometro deve avere una resistenza interna molto inferiore alla resistenza del componente preso in esame, idealmente si dovrebbe avere $R_A=0\Omega$ (amperometro ideale).

Voltmetro

Il voltmetro è lo strumento di misura del potenziale o meglio della tensione presente ai capi di un componente, come per l'amperometro anche per il voltmetro si può ipotizzare di collegarlo in serie o in parallelo al componente interessato.

Seguendo i ragiona-





menti fatti in precedenza la scelta è opposta a quella ipotizzata per l'amperometro

il voltmetro deve essere collegato in parallelo al componente

del quale si vuole conoscere la differenza di potenziale presente ai suoi capi

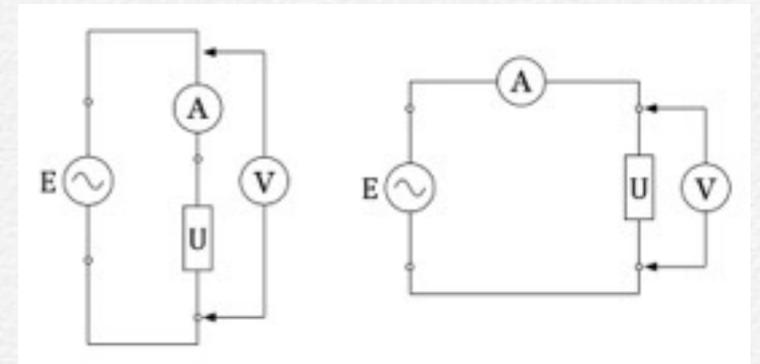
Infatti grazie al collegamento parallelo tra i due, la tensione misurata dal voltmetro avrà lo stesso valore della tensione del componente.

TABELLA 7.1 Amperometro e Voltmetro

Strumento	Collegamento	Resistenza interna
Amperometro	Serie	Molto bassa
Voltmetro	Parallelo	Molto alta

La tabella riassume i discorsi fatti sul collegamento dei due strumenti di misura

Nel caso del voltmetro non si ha la necessità di interrompere il circuito per poterlo collegare, basta infatti che i



suoi puntali vadano in contatto elettrico con i conduttori per i quali si vuole misurare il potenziale.

Come l'amperometro anche il voltmetro ha una sua resistenza interna, se si vuole influire il meno possibile su quella che è la misura reale della tensione in esame l'inserimento in parallelo del voltmetro deve influenzare il meno possibile l'impianto cioè la sua resistenza interna dovrà essere la più alta possibile (idealmente ∞ , si legge infinito/a).

Le immagini di figura mostrano due differenti metodi per la contemporanea misura di corrente e tensione su un componente, le differenze tra i due collegamenti possono in alcuni casi essere trascurate in modo da considerarli equivalenti.

Collegamenti errati

Nel caso del voltmetro, visto il suo elevato valore di resi-

Applicazione del collegamento serie e parallelo: i partitori

Prerequisiti

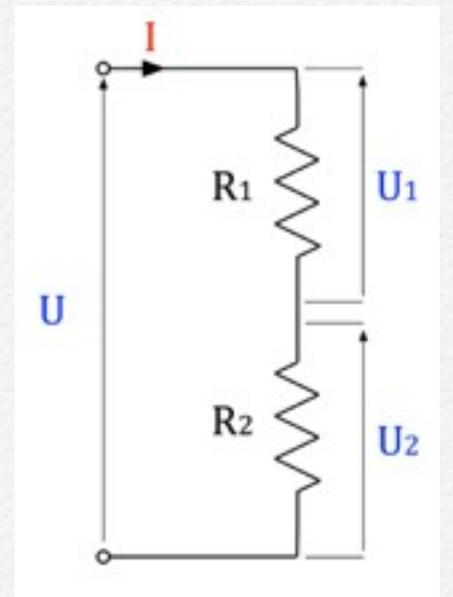
1. Collegamento serie
2. Collegamento parallelo

I partitori sono circuiti che permettono come dice la parola stessa di ripartire, cioè suddividere, la tensione e la corrente di un circuito. Questo circuito deriva essenzialmente dai due collegamenti serie e parallelo appena visti, il circuito serie serve per ripartire la tensione (la corrente con questo circuito rimane costante e quindi non si può suddividere) mentre il circuito parallelo serve per ripartire la corrente.

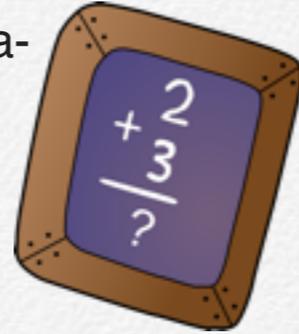
Si tratta di formule notevoli per situazioni particolari che possono essere ricavate direttamente dalla legge di ohm.

Il partitore di tensione

Il circuito che identifica il partitore è quello mostrato in figura, le due resistenze collegate in serie si ripartiscono la tensione presente ai loro capi, la resistenza maggiore avrà la tensione maggiore (cioè su di essa si avrà la maggiore caduta di tensione).



In generale il partitore di tensione afferma che in un circuito serie il valore di tensione presente su una resistenza sarà dato dalla tensione complessiva che alimenta il circuito serie, moltiplicato per il valore della resistenza interessata (quella sulla quale si vuole calcolare la tensione) diviso la somma delle resistenze presenti nel circuito serie:



$$U_{R_1} = \frac{U \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{R_2} = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

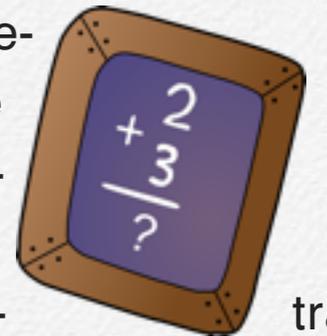
Per i nomi usati nella formula si fa riferimento alla figura.

Il partitore di tensione potrebbe essere generalizzato anche al caso in cui il circuito serie fosse formato da più di 2 resistenze collegate in serie, la struttura della formula sarebbe la stessa solo che aumenterebbe la somma delle resistenze per cui si divide.

Il partitore di corrente

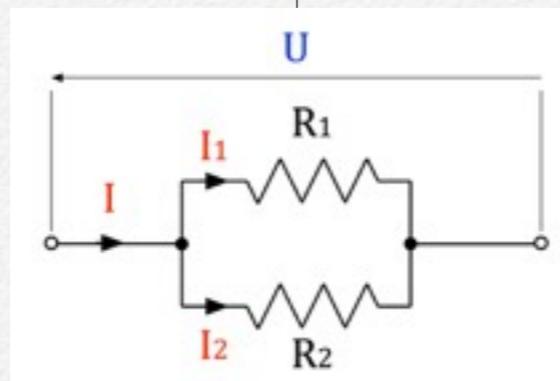
Il circuito che identifica il partitore è quello mostrato in figura, le due resistenze collegate in parallelo si ripartiscono la corrente che arriva dal circuito, per logica la resistenza più bassa verrà attraversata da una corrente maggiore mentre la resistenza più alta verrà attraversata da una corrente minore.

In questa fase il partitore di corrente viene applicato al caso di 2 sole resistenze collegate in parallelo e afferma che il valore della corrente che attraversa una resistenza è dato dalla corrente che entra nel partitore moltiplicato per il valore della resistenza non interessata (l'altra delle due resistenze) diviso la somma di tutte le resistenze coinvolte nel partitore.



$$I_{R_1} = \frac{I \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{R_2} = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$



Il partitore di corrente viene utilizzato per diminuire la corrente che attraversa un componente (non sempre è possibile!) collegando

Generalizzazione a più di due componenti: i collegamenti misti

Prerequisiti

1. Circuito serie
2. Circuito parallelo

La metodologia presentata in questo paragrafo permette esclusivamente il calcolo della resistenza equivalente presente in un circuito, queste sottintende che si devono conoscere i valori di tutte le resistenze presenti. Per avere in mano strumenti più efficaci che possono aiutare nell'analisi di circuiti complessi si deve aspettare almeno l'introduzione dei principi di Kirchhoff.

Finora si sono studiati i circuiti più semplici composti da due soli componenti collegati in serie o in parallelo, in realtà si è potuto estendere il ragionamento, in particolare il calcolo della resistenza equivalente, anche per più di due resistenze a patto che siano collegate o tutte in serie o tutte in parallelo.

Si cercherà di introdurre aspetti più realistici, quindi più complessi, con gradualità. In questo senso la situazione più semplice prevede:

- un circuito puramente resistivo, cioè gli unici componenti presenti sono assimilabili a delle resistenze
- la presenza di 1 solo generatore (anche se in taluni casi la presenza di più generatori non complica eccessi-

vamente il circuito e questo metodo può essere ugualmente applicato).

Risolvere un circuito richiede, per quello che è stato detto nelle sezioni precedenti, il calcolo della sua resistenza equivalente, cioè la resistenza vista dal generatore, dal suo punto di vista infatti non cambia nulla se è collegato al circuito originale o ad un'unica resistenza di valore opportuno e quindi equivalente al circuito originario, in entrambi i casi dovrà erogare sempre la medesima corrente.

Circuiti con collegamenti misti

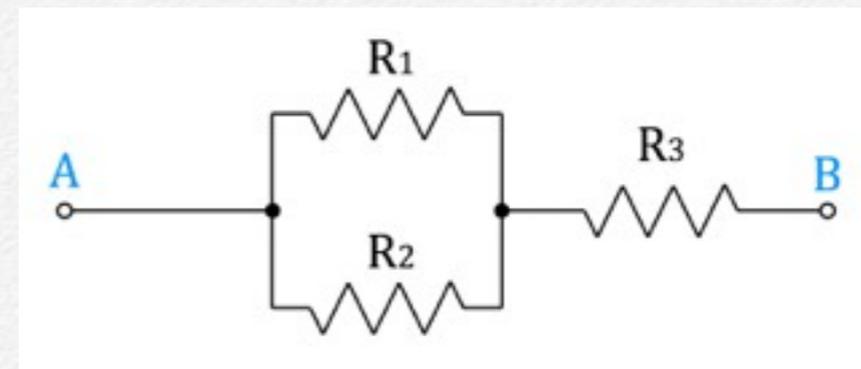
Si parla di collegamento misto quando i componenti non sono collegati tutti in serie o tutti in parallelo. Non è possibile determinare in un unico passaggio la resistenza equivalente del circuito, si deve procedere per passaggi successivi (step by step) valutando di volta in volta la situazione che si presenta. Questi sono i passaggi che sintetizzano il metodo:

- Nell'analisi conviene (quasi) sempre iniziare dai collegamenti più lontani rispetto al generatore
- Si consiglia di considerare solo 2 resistenze alla volta, tranne in casi eccezionali si troveranno sempre due re-

sistenza che sono tra loro collegate in serie o in parallelo.

- Si calcola la resistenza equivalente delle due.
- Si sostituiscono le due resistenze con quella equivalente ridisegnando opportunamente il circuito
- Si riparte dal primo punto fino a quando non rimane solo 1 resistenza che sarà la resistenza equivalente

Poiché in ogni passaggio si riduce di 1 in numero delle resistenze, per un circuito di N resistenze servono un nu-



mero massimo di passaggi pari a $N-1$.

Esercizi

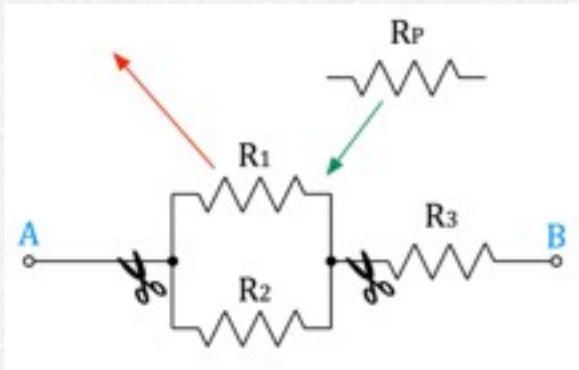
Esercizio 1:

Dato il circuito di figura determinare la resistenza equivalente presente tra i morsetti A e B sapendo che le resi-

stenze hanno i seguenti valori $R_1=45\Omega$, $R_2=30\Omega$ e $R_3=35\Omega$.

Dati

$$R_1 = 45 \Omega$$



$$R_2 = 30 \Omega$$

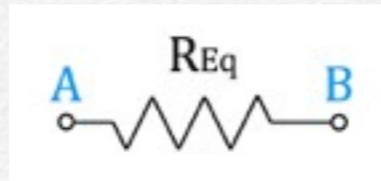
$$R_3 = 35 \Omega$$

Soluzione

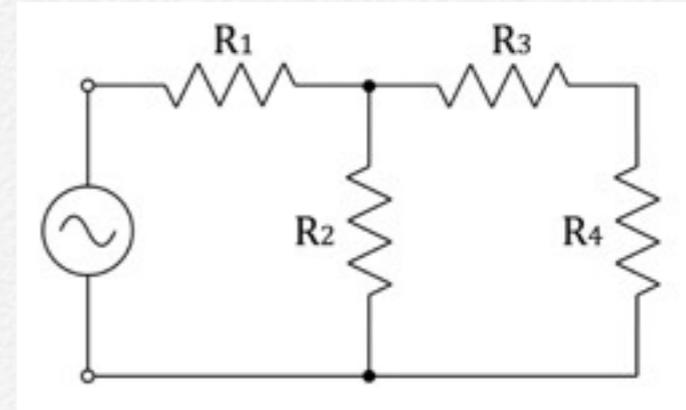
Le uniche due resistenze che hanno un collegamento riconoscibile sono la R_1 e la R_2 ; tra loro sono collegate in serie e calcolo la loro resistenza equivalente:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{45\Omega \cdot 30\Omega}{45\Omega + 30\Omega} = \frac{1350}{75} = 18\Omega$$

Come si vede dalla figura riportata le due resistenze devono essere tolte dal circuito e sostituite con un'unica resistenza del valore uguale alla resistenza equivalente del circuito parallelo.

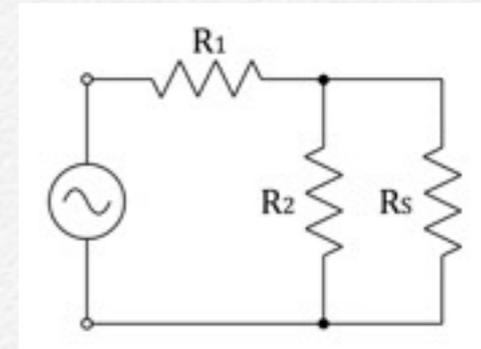


Il circuito che si ottiene dopo questa sostituzione è stato riportato nell'immagine a fianco. Dal "nuovo" circuito, riportato in alto a destra, emerge che R_p e la R_3 sono collegate in serie, si calcola il loro valore equivalente:



$$R_{Eq} = R_p + R_3 = 18\Omega + 35\Omega = 53\Omega$$

Il circuito dell'esercizio è quindi equivalente ad un'unica resistenza $R_{Eq}=53\Omega$ come mostrato in figura



Esercizio 2:

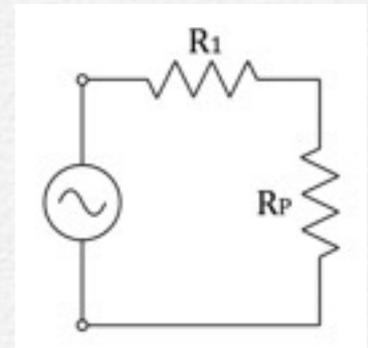
Per il circuito di figura determinare il valore della corrente erogata dal generatore sapendo che la tensione ai suoi capi vale $U=230V$. I valori delle resistenze sono: $R_1=40\Omega$, $R_2=90\Omega$, $R_3=18\Omega$ e $R_4=25\Omega$

Dati

$$R_1 = 40 \Omega$$

$$R_2 = 90 \Omega$$

$$R_3 = 18 \Omega$$



$$R_4 = 52 \Omega$$

$$U = 230 V$$

Soluzione

L'unico collegamento ben definito è il collegamento serie tra R_3 e R_4 , la loro resistenza equivalente vale:

$$R_S = R_3 + R_4 = 52\Omega + 18\Omega = 70\Omega$$

Dopo aver ridisegnato il circuito semplificato (immagine a fianco), si può osservare che adesso R_2 è collegata in parallelo alla resistenza R_S appena calcolata. La loro resistenza equivalente vale:

$$R_P = \frac{R_2 \cdot R_S}{R_2 + R_S} = \frac{90\Omega \cdot 70\Omega}{90\Omega + 70\Omega} = \frac{6300}{160} = 39,37\Omega$$

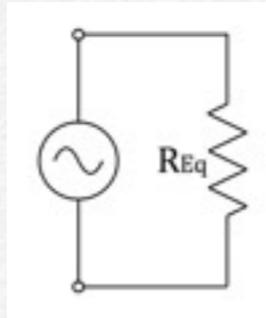
Si ridisegna nuovamente il circuito e si calcola la resistenza equivalente vista dal generatore come la serie tra R_1 e R_P .

$$R_{Eq} = R_1 + R_P = 40\Omega + 39,37\Omega = 79,37\Omega$$

Il circuito originario sarà quindi equivalente al seguente circuito:

Applicando la legge di Ohm si può calcolare la corrente che circola nel circuito equivalente e quindi nel circuito in esame.

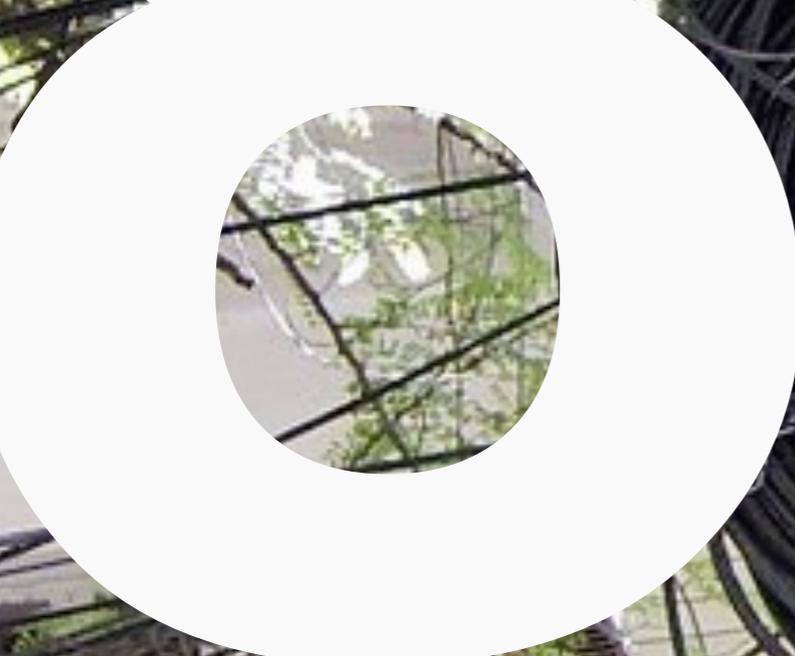
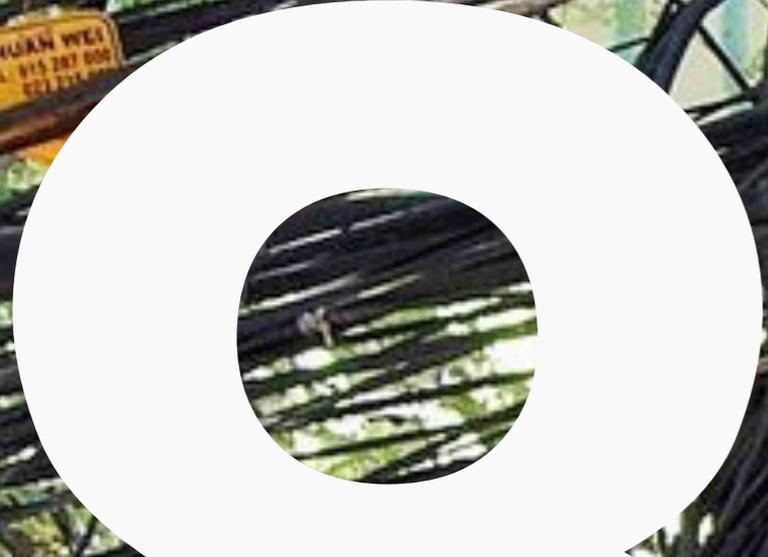
$$I = \frac{U}{R_{Eq}} = \frac{230V}{79,37\Omega} = 2,89A$$



Esercizio 3:

Dato il circuito di figura determinare la resistenza equivalente presente tra

Le reti elettriche



Definizioni

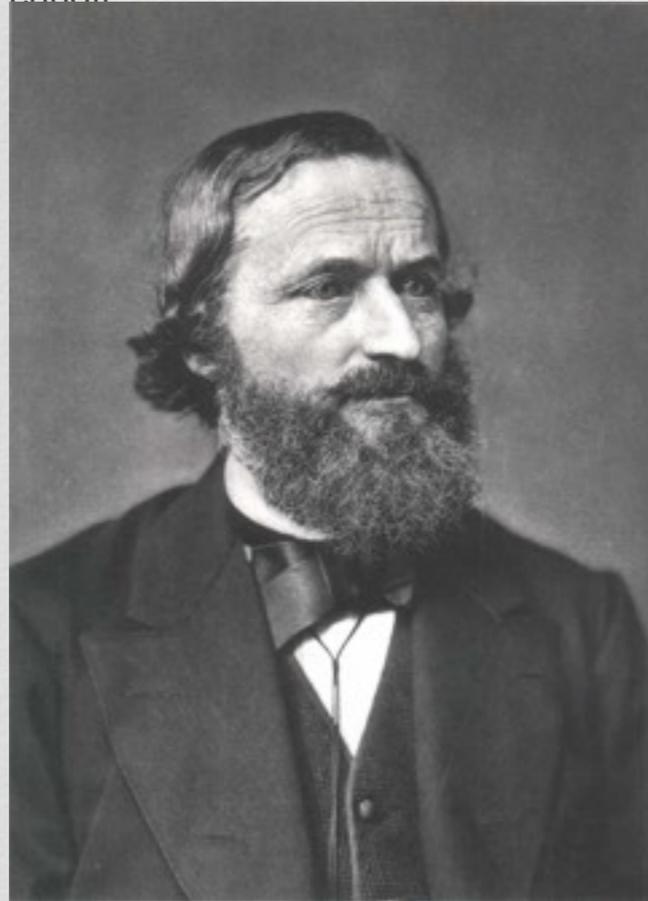
In situazioni più complesse risulta necessario introdurre nuovi principi o nuove metodologie di analisi dei circuiti, in questo capitolo verranno presentati i principi di Kirchhoff, per le reti elettriche ha un'importanza paragonabile a alla legge di ohm e con un'applicabilità anche superiore, e il principio di sovrapposizione

degli effetti importante anche al di fuori del mondo elettrico.

Prima di procedere è bene introdurre innanzitutto il concetto di rete elettrica definendo in maniera sufficientemente precisa le parti che la compongono.

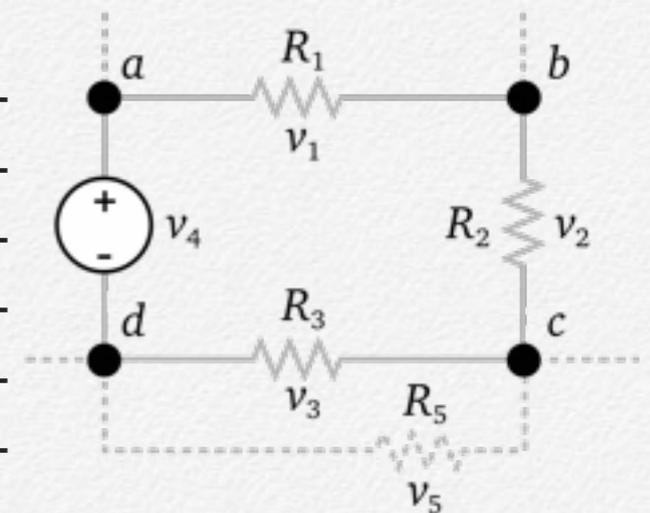
Queste le definizioni più importanti:

Personaggi 9 Gustav Robert Kirchhoff

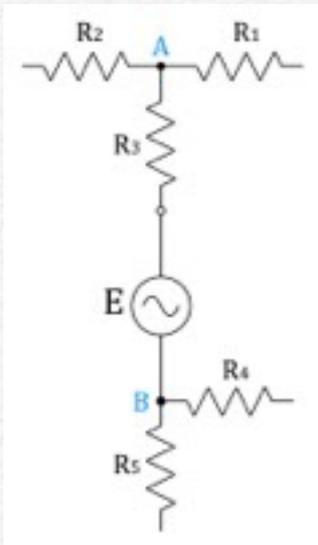


- **Rete elettrica.** Si intende l'insieme di tutte quelle parti che vanno dai componenti alle infrastrutture che sono responsabili della produzione, trasporto e utilizzo dell'energia elettrica. In maniera più ridotta si intende tutti quei componenti, strutture e collegamenti che stanno alla base dell'utilizzo dell'energia elettrica dal generatore all'utilizzatore

- **Maglia.** Parte di rete elettrica composta da un circuito chiuso, può comprendere componenti, cavi ecc. Nella figura la maglia è l'insieme dei componenti compresi nel tratto $a-b-c-d-a$, la si potrebbe chiamare **Maglia ABCD**.



- **Ramo** è un tratto di circuito formato da componenti collegati tra loro esclusivamente in serie. Una conseguenza di questa definizione è che tutti i componenti che appartengono ad un ramo sono attraversati dalla medesima corrente o in altre parole la corrente nei rami uguale per tutti i suoi componenti. Si fa notare che se due rami vengono uniti elettricamente si ottiene un uni-



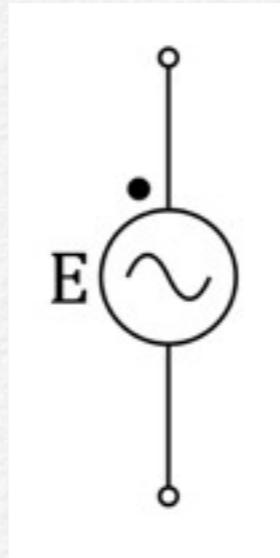
co circuito serie e di conseguenza si ha un unico ramo. Nell'immagine a fianco il **RamoAB** è composto dalla resistenza R_3 e dal generatore E .

•**Nodo** è l'unione di 3 o più rami, viene rappresentato attraverso dei punti di connessione (nella realtà dei morsetti). Quando si incontra un nodo un ramo finisce, quindi la corrente subisce variazioni

in intensità. Sempre dalla stessa immagine, **A** e **B** sono i due nodi presenti.

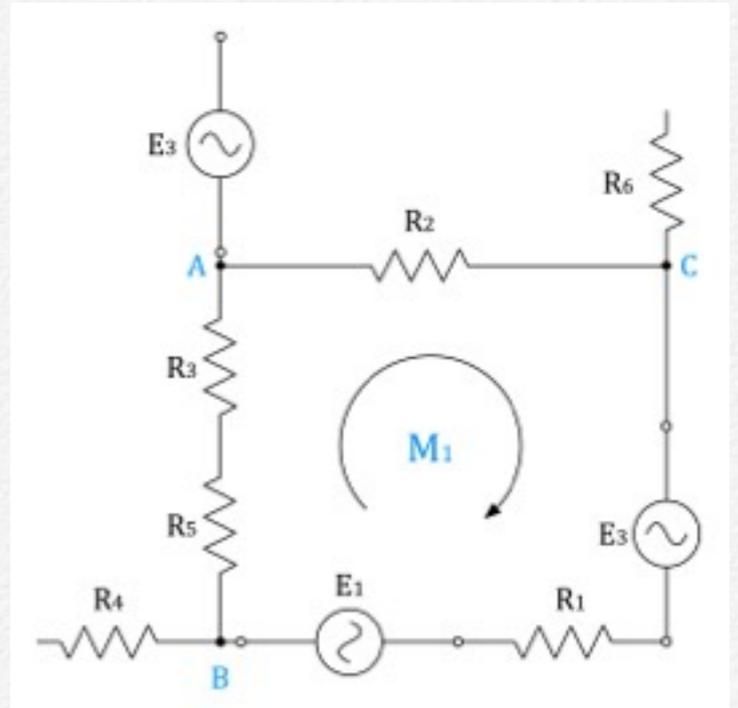
Alcune precisazioni

Sul simbolo dei generatori di tensione alternata verrà posizionato un puntino per indicare "qual è la semi-onda positiva" in un dato istante, in altri termini qual è il morsetto del generatore (sempre nell'istante iniziale) a potenziale maggiore. Questa rappresentazione verrà ripresa e utilizzata in particolare nel 2° principio di Kirchhoff.



Come esempio applicativo si andranno a descrivere le maglie, i rami e i nodi per il circuito di figura.

Per le maglie e i rami si elencano i componenti contenuti, è consigliabile nell'elencare i componenti mantenere un ordine per evitare dimenticanze. Per i nodi al momento si indicano solo i nomi.



Maglie (1)

M1 --- $R_2; E_3; R_1; E_1; R_5; R_3$

Rami (3)

Ramo AB --- $R_3; R_5$

Ramo BC --- $E_1; R_1; E_3$

Ramo CA --- R_2

Nodi (3)

Nodo A

Nodo B

Il 1° principio di Kirchhoff

Prerequisiti

1. Correnti elettriche
2. Nodi e Rami
3. Somme algebriche

Il primo principio di Kirchhoff ha a che fare con le correnti che attraverso i rami entrano in un nodo e nella sua formulazione classica afferma che:

la somma algebrica delle correnti entranti in un nodo è nulla.

Scritto in questa forma (parla di somma algebrica) può risultare più complicato di quello che è. Per capirlo meglio iniziamo a ragionare sulle correnti che circolano nei rami, per quello che è stato detto in precedenza un ramo è sempre compreso tra due nodi quindi la corrente che sta attraversando un ramo deve uscire da un nodo per

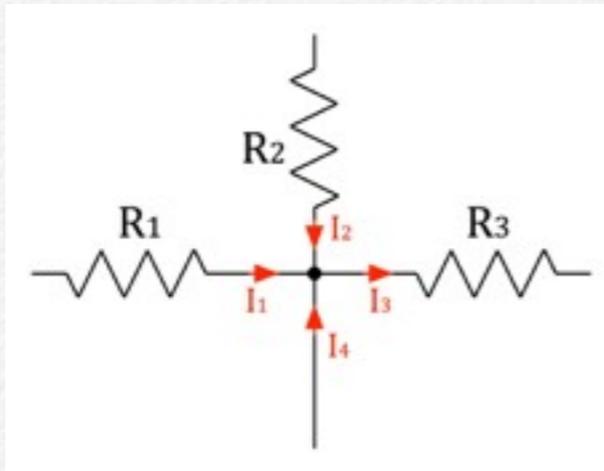


poi rientrare in un'altro. Nell'esempio di figura la corrente $I=2A$ esce dal nodo A per poi entrare nel nodo B. La rappresentazione matematica del concetto entrare/uscire può essere fatta con l'uso dei segni, in particolare

- il segno + si usa quando la corrente entra in un nodo

- il segno - si usa quando la corrente esce da un nodo

Così il contributo della corrente I per il nodo A è di $-2A$ mentre il contributo della stessa corrente I per il nodo B è $+2A$. Con questo accorgimento in un unico nodo dove si uniscono più rami, ognuno porta la propria corrente, chi positiva e chi negativa; il 1° PK dice quindi che sommando tutti questi valori algebricamente, cioè usando per ogni valore il suo segno, il risultato deve essere $=0$.

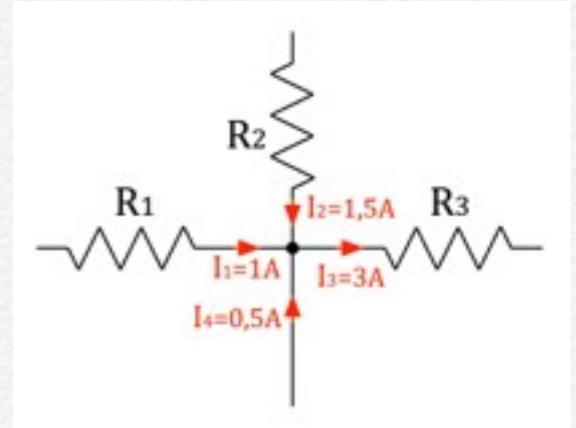


Nel nodo a fianco la corrente I_1 entra ed è quindi positiva (+), la corrente I_2 entra (+), la I_3 esce (-) e la I_4 entra (+).

Esiste un secondo modo di enunciare il primo principio di Kirchhoff ed è il seguente:

la somma delle correnti entranti in un nodo deve essere uguale alla somma delle correnti uscenti dallo stesso nodo.

Esempio 1. Dato il nodo di figura è possibile applicare il primo principio di Kirchhoff (come esercizio verrà applicato nelle due forme viste). Prima di applicare i metodi si evidenzia che per il nodo che si sta studiando:



entrano: $I_1; I_2; I_4$

escono: I_3

1° metodo: si devono scrivere le correnti con il loro segno e sommarle, la somma deve essere nulla

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 1A + 1,5A - 3A + 0,5A = 0 A$$

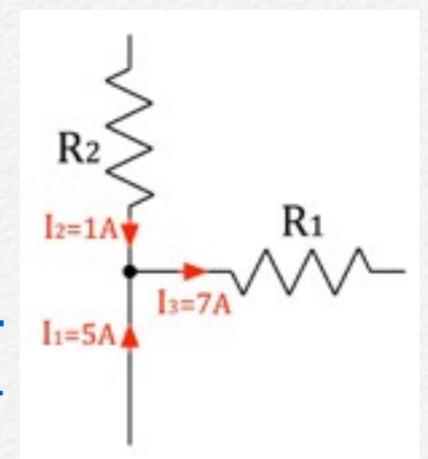
2° metodo: la somma delle correnti entranti deve essere uguale alla somma delle correnti uscenti

entranti: $I_1 + I_2 + I_4 = 1A + 1,5A + 0,5A = 3A$

uscenti: $I_3 = 3A$

In entrambi i modi si è verificato il 1° principio di Kirchhoff.

Esempio 2 (Il 1° principio di Kirchhoff sembra non valido). Può ca-



pitare dopo aver fatto delle ipotesi o dopo aver effettuato dei calcoli di trovare delle correnti che non rispettano il 1 principio di Kirchhoff come nell'esempio di figura; applicando infatti il primo principio si ha:

entrano: $I_1; I_2$

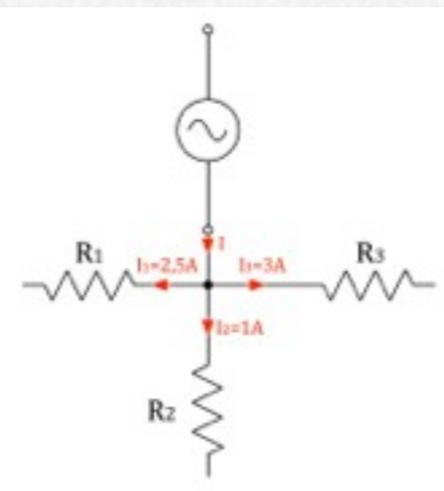
escono: I_3

$$I_1 + I_2 + I_3 = 1A + 5A - 7A = -1A \neq 0$$

In queste situazioni la conclusione è una soltanto: sono state sbagliate le ipotesi o i calcoli, cioè o I_1 o I_2 o I_3 o più di una ha il valore (anche il segno fa parte del valore) sbagliato!

Significato del 1 Principio di Kirchhoff

Questo principio è molto intuitivo, anche se non banale, e dice fondamentalmente che le cariche in movimento possono muoversi solo nei conduttori, non possono uscire dal circuito e non si possono fermare! Se una carica entra in un nodo attraverso un conduttore è costretta a uscire dal nodo attraverso un'altro conduttore. Si può paragonare il nodo ad



una rotonda stradale, tante automobili entrano nella rotonda e tante automobili ne devono uscire indipendentemente dal loro percorso.

Esercizi (come usare il 1 principio di Kirchhoff)

Esercizio 1:

Determinare, usando il 1 principio di kirchhoff, il valore della corrente I erogata dal generatore

Dati

$$I_1 = 2,5 A$$

$$I_2 = 1 A$$

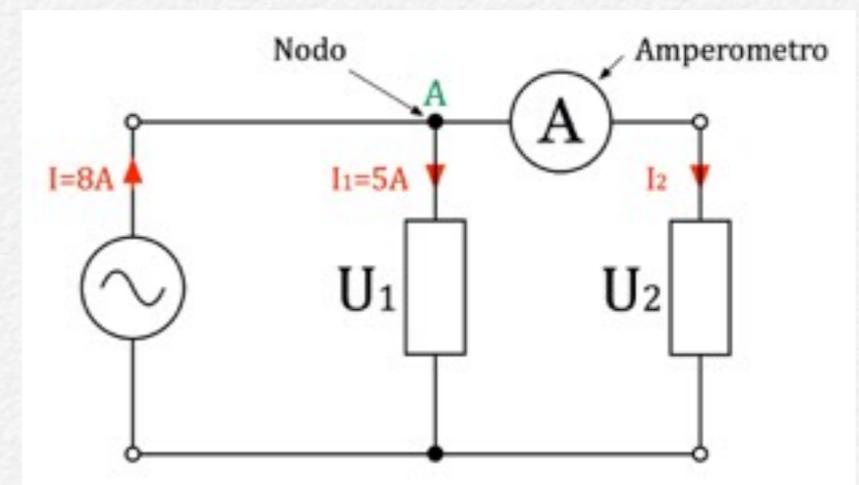
$$I_3 = 3 A$$

Entranti: I

Uscenti: $I_1; I_2; I_3$

Soluzione

1° metodo



$$I + I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I - 2,5A - 1A - 3A = 0A$$

$$I = 2,5A + 1A + 3A$$

$$I = 6,5A$$

2° metodo

Somma correnti entranti: I

Somma correnti uscenti:

$$I = 6,5A$$

Nella seconda riga I_2 ha preso il segno negativo perché rappresenta adesso il valore dell'incognita che uscendo dal nodo A deve essere negativa

$$I_1 + I_2 + I_3 = 2,5A + 1A + 3A = 6,5A$$

Esercizio 2:

Per il circuito di figura determinare il valore della corrente I_2 .

Dati

$$I = 8A$$

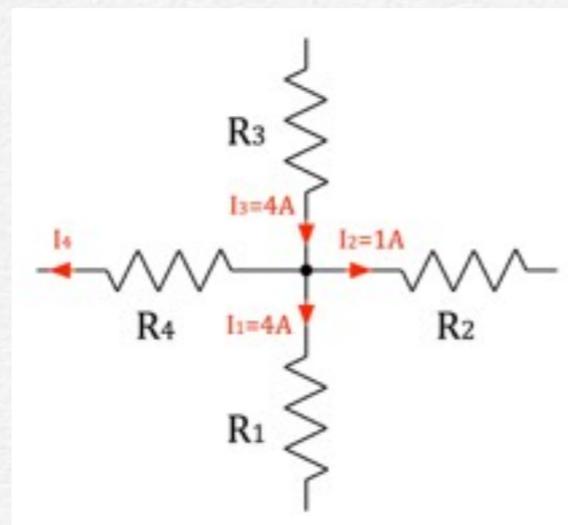
$$I_1 = 1A$$

Entranti nel nodo A: I

Uscenti dal nodo A: $I_1; I_2$

Soluzione

1° metodo



$$I + I_1 + I_2 = 0$$

$$8A - 5A - I_2 = 0A$$

$$8A - 5A = I_2$$

$$3A = I_2$$

2° metodo

Somma correnti entranti: $I = 8A$

Somma correnti uscenti: $I_1 + I_2 = 5A + I_2$

$$8A = 5A + I_2$$

$$I_2 = 8A - 5A = 3A$$

Esercizio 3:

Per il circuito di figura determinare il valore della corrente I_4 .

Dati

$$I_1 = 4A$$

$$I_2 = 1A$$

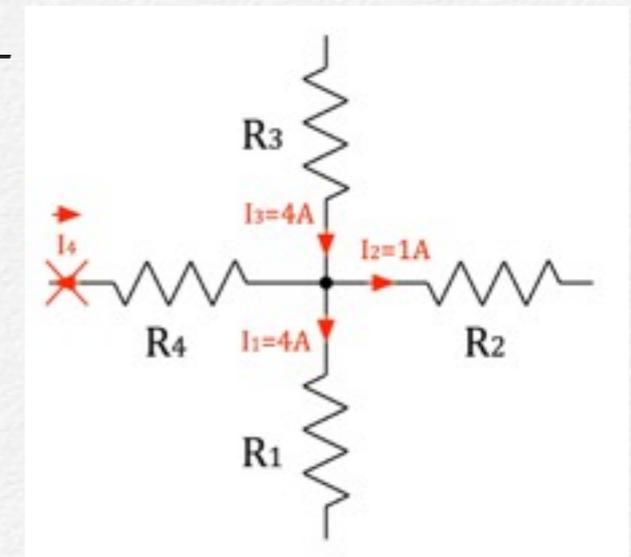
$$I_3 = 4A$$

Entranti nel nodo: $I_3; I_4$

Uscenti dal nodo: $I_1; I_2$

I_4

Soluzione



Il 2° principio di Kirchhoff

Prerequisiti

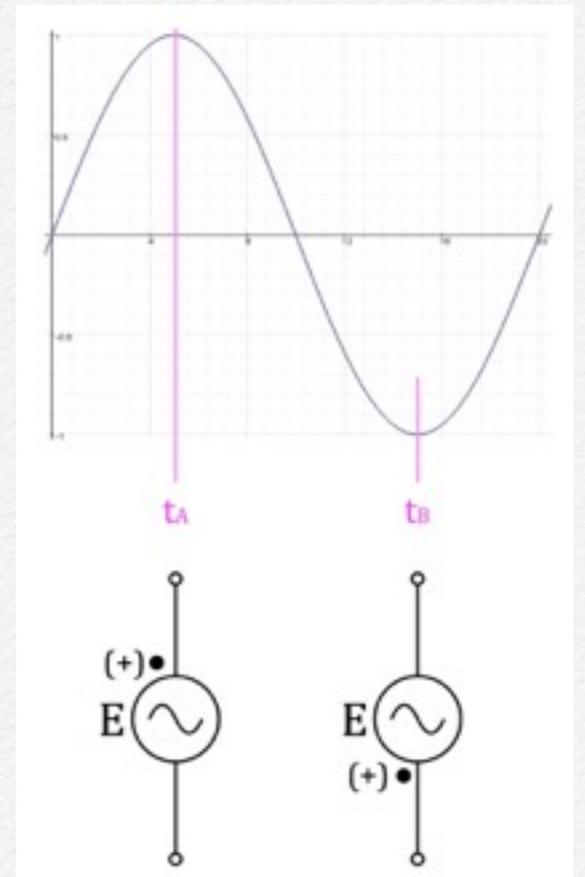
1. Tensione, ddp e cdt
2. 1 legge di Ohm
3. Maglie
4. Somme algebriche

Il secondo principio di Kirchhoff si applica alle maglie e riguarda le tensioni presenti all'interno di una maglia e afferma che:

la somma algebrica delle tensioni in una maglia è uguale a 0

Come per il 1° principio, anche in questo si parla di somme algebriche, quindi ogni tensione deve essere accompagnata da un segno +/- . Poiché la tensione è sinusoidale può sembrare strano parlare di segno in quanto periodicamente continua ad alternarsi (quindi cambiare segno). Nella realtà non c'è alcun problema in quanto il secondo principio di Kirchhoff vale per ogni istante di tempo.

Se si prende la tensione alternata su un generatore (si veda la figura a fianco) il suo valore risulta positivo nel punto t_A e negativo nel punto t_B . Questo significa che il morset-



to a potenziale maggiore (positivo) al tempo t_A è il morsetto in alto e al tempo t_B il morsetto in basso.

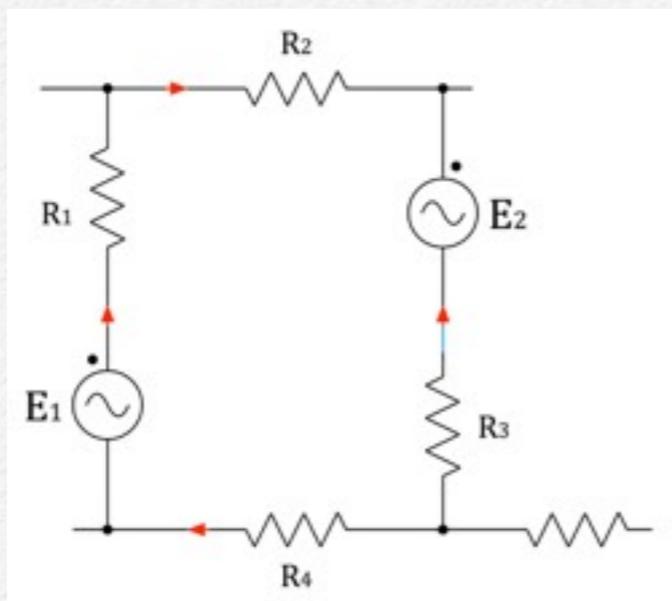
Conseguentemente a questo fatto se si dovesse fare una fotografia delle tensioni nell'impianto al tempo t_A ad ogni tensione potrebbe associare un segno esattamente come è stato fatto per il generatore; lo stesso discorso sarebbe valido anche nel caso in cui si dovesse prendere il tempo t_B o qualunque altro istante.

Individuato ad un dato istante il segno della tensione per ogni componente si può applicare per quell'istante il 2° principio di Kirchhoff.

Si ricorda che le tensioni sui componenti sono provocate dalla tensione del generatore, per applicare correttamente il 2° principio di Kirchhoff basta indicare con un punto qual è, nel dato istante, il morsetto a potenziale maggiore.

Esempio.

Nell'immagine a fianco

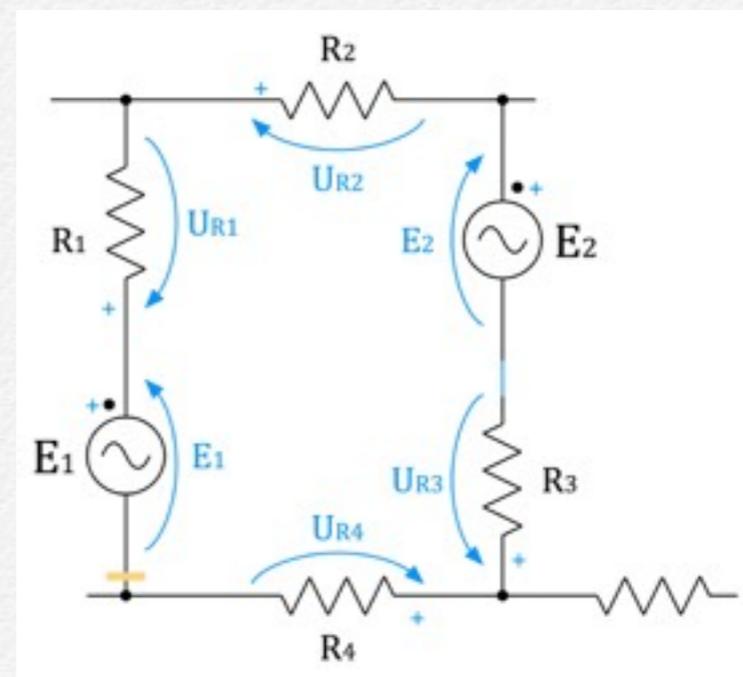


sono presenti due generatori per i quali si è messo in evidenza ad un dato istante quale dei due morsetti ha il potenziale maggiore (positivo). Con questa indicazione si può stabilire qual è in quell'istante il verso della corrente (freccie rosse); stabilito il percorso della corrente si può individuare sempre per l'istante preso in considerazione il segno della caduta di tensione. Ad esempio la corrente che esce da E_1 entra nella resistenza R_1 la quale provoca una diminuzione del potenziale (la caduta di tensione appunto), il potenziale maggiore (morsetto positivo) si avrà sul morsetto nel quale entra la corrente.

Estendendo questo ragionamento a tutti i



componenti lo schema delle tensioni può essere completato come nella figura a fianco dove con U_R si indicano le diverse cadute di tensione.

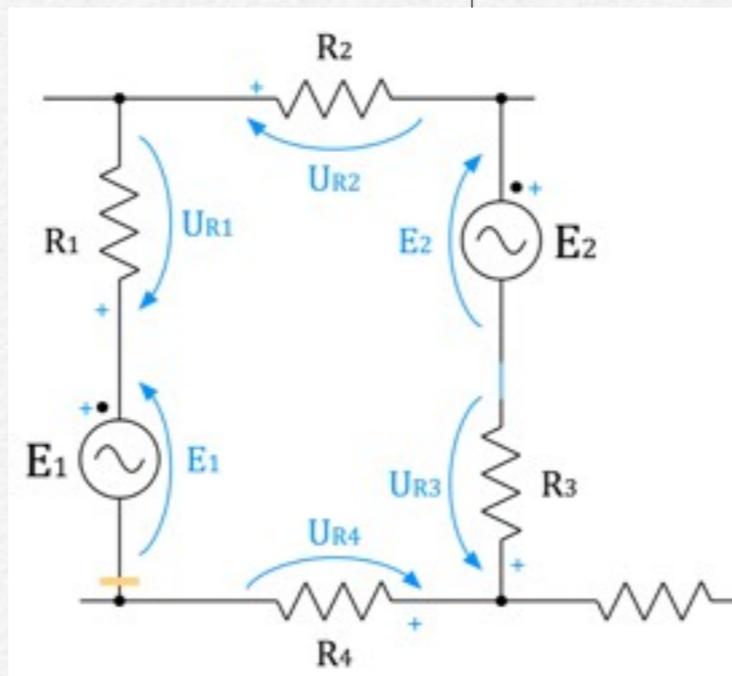


Stabiliti i segni delle tensioni sui vari componenti si può procedere ad applicare il secondo principio di Kirchhoff. Prima però sono necessarie alcune precisazioni:

- Sul disegno si indica il morsetto positivo, ovviamente l'altro sarà il morsetto negativo.
- Si ricorda che la maglia è un circuito chiuso e deve essere percorsa interamente, cioè il punto di partenza e il punto di arrivo coincidono.
- Il verso di percorrenza delle maglie non importa.
- Quando nel percorrere la maglia si trova un componente, la sua tensione va presa con il segno che si incontra.

Si può applicare ora il 2° principio di Kirchhoff al circuito mostrato in precedenza che per semplicità viene riportato. Il punto di partenza di percorrenza della maglia è indicato sullo schema con un segno giallo e si decide di procedere in senso orario.

Il primo componente che si incontra è il generatore con tensione E_1 il segno di questa tensione sarà negativo (-)



perché lo si incontra con morsetto opposto rispetto al segno positivo (+), il secondo componente è R_1 con tensione U_{R_1} presa col segno positivo (si incontra infatti il morsetto +) e così fino all'ultimo componente R_2 .

$$-E_1 + U_{R_1} + U_{R_2} + E_2 - U_{R_3} + U_{R_4} = 0$$

Come per il 1° anche per il 2° principio esiste una formulazione alternativa ma del tutto equivalente:

All'interno di una maglia la somma algebrica delle FEM è uguale alla somma algebrica delle cdt

In questo caso i segni seguono la seguente regola:

- per le FEM si prendono positive quelle che fanno circolare la corrente nella stessa direzione di percorrenza della maglia e negative le altre FEM
- per le cdt si prendono positive quelle che fanno diminuire il potenziale muovendosi nel senso di percorrenza della maglia e negative le altre

Applicando questa seconda versione allo stesso circuito si ottiene (si percorre sempre la maglia in senso orario):

Somma delle FEM

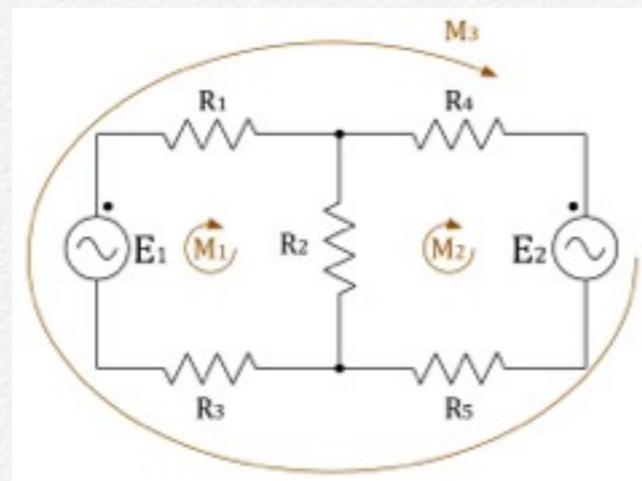
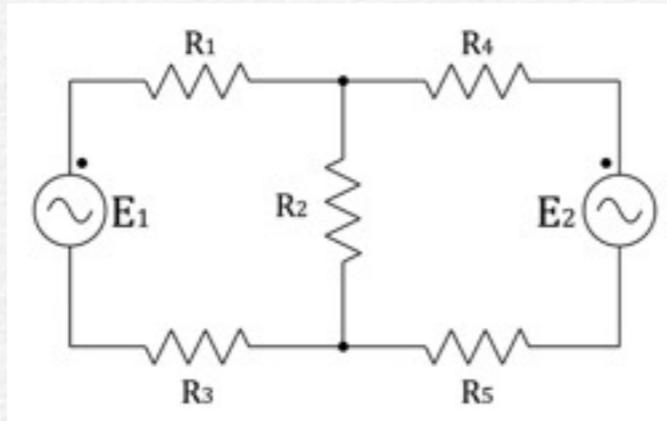
$$E_1 - E_2$$

Somma delle cdt

$$U_{R_1} + U_{R_2} - U_{R_3} + U_{R_4}$$

da cui

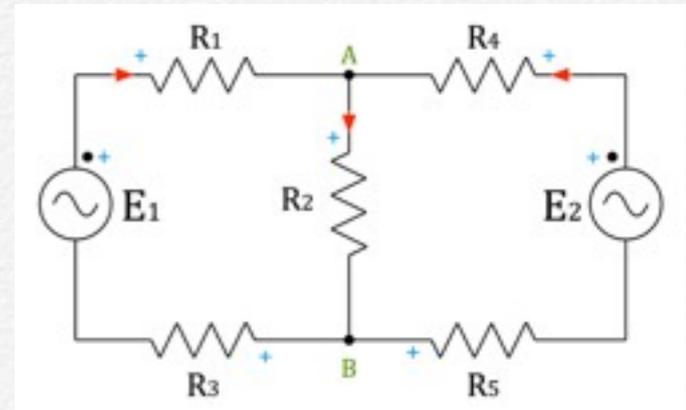
$$E_1 - E_2 = U_{R_1} + U_{R_2} - U_{R_3} + U_{R_4}$$



Esercizi: Applicazione del 2° principio di Kirchhoff per scrivere le equazioni alle maglie

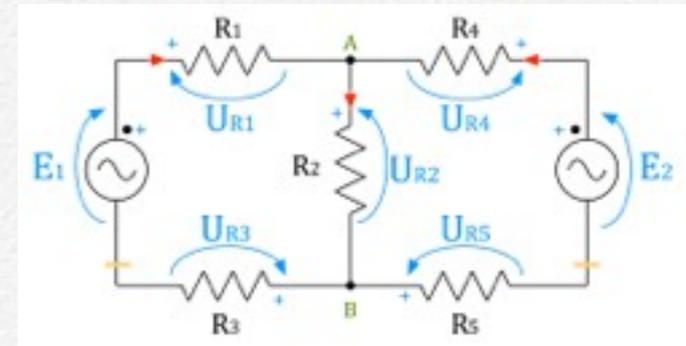
Esercizio 1:

Dato il circuito di figura scrivere il 2° principio di Kirchhoff a tutte le maglie.



Soluzione

Come primo passo si devono individuare le maglie presenti all'interno del circuito.



Complessivamente le maglie sono 3 (si devono seguire tutti i percorsi chiusi possibili) che risultano così composte:

M_1 : E_1 ; R_1 ; R_2 ; R_3

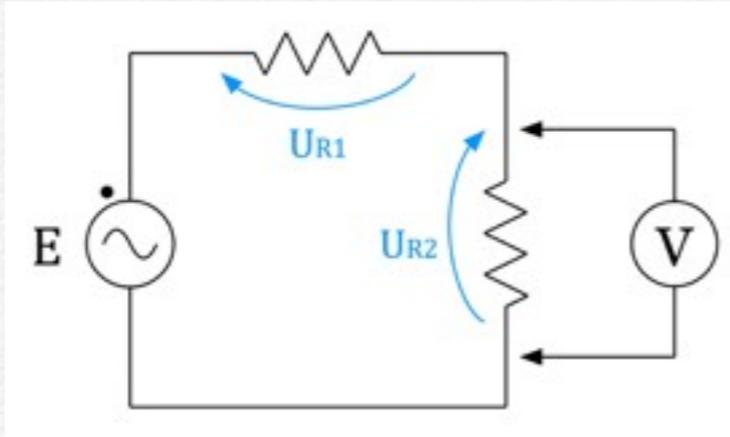
M_2 : R_2 ; R_4 ; E_2 ; R_5

M_3 : E_1 ; R_1 ; R_4 ; E_2 ; R_5 ; R_3

Nel passaggio successivo si devono indicare per ogni ramo le correnti, l'indicazione può essere del tutto arbitraria ma per semplicità si seguono le indicazioni date dalla presenza dei generatori, in questo esempio una corrente esce dal generatore E_1 e si dirige verso la resistenza R_1 , un'altra corrente esce dal generatore E_2 e si diri-

ge verso la resistenza R_4 . Queste due correnti si incontrano, entrano, nel nodo A dal quale dovrà uscire una terza corrente che scende verso la resistenza R_2 .

Dopo aver segnato la corrente si devono indicare le tensioni in particolare quelle sulle resistenze e le polarità delle stesse come indicato anche nel disegno di figura. Si ricorda che il segno + lo si ha sul morsetto nel quale entra la corrente. Il punto di partenza per percorrere le maglie è il segno giallo sotto ai due generatori e si percorrerà le maglie sempre in senso orario.



$$-E_1 + U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} = 0$$

$$-U_{R_5} - U_{R_2} - U_{R_4} + E_2 = 0$$

$$-E_1 + U_{R_1} + U_{R_4} + E_2 - U_{R_5} + U_{R_3} = 0$$

Queste sono le 3 equazioni alle maglie ottenute col 2° principio di Kirchhoff.

Esercizi (come usare il 2° principio di Kirchhoff)

Esercizio 1:

Nel circuito di figura si ha un generatore con $E=230V$, attraverso un voltmetro viene misurata la tensione $U_{R_2}=210V$. Determinare con l'aiuto del 2° principio di Kirchhoff il valore della cdt sulla R_1 , cioè U_{R_1} .

Dati

$$E = 230 \text{ V}$$

$$U_{R_2} = 210 \text{ V}$$

Soluzione

Applicando il secondo principio di Kirchhoff alla maglia si ottiene (è stato scelto di iniziare a percorrere la maglia dall'angolo in basso a sinistra sotto il generatore e di muoversi in senso orario):

$$-E + U_{R_1} + U_{R_2} = 0$$

sostituendo i valori si ottiene

$$-230V + U_{R_1} + 210V = 0V$$

$$U_{R_1} = 230V - 210V$$

$$U_{R_1} = 20V$$

Esercizio 2:

Per il circuito di figura determinare il valor

Arriverà.....

9

Grandezze, unità di misura e formulario



$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_{\parallel} + \mathbf{r}_{\perp}$$

$$\mathbf{r}_{\parallel} = n(\bar{n} \cdot \bar{r}) \hat{\mathbf{n}}$$

$$\mathbf{r}_{\perp} = -\mathbf{n} \times (\mathbf{n} \times \mathbf{r}) = \mathbf{r} - \mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{r})$$

Tabella delle grandezze e delle unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Simbolo	Conversioni
Energia	E, W	joule	J	1J = 0,000277Wh
		watt-ora	Wh	1Wh = 3600J
		caloria	cal	1cal = 4,184J
Potenza	P	watt	W	1W = 0,00136CV
		Cavalli Vapore	CV	1CV = 735W
Tensione	U	volt	V	
Intensità di corrente	I	ampère	A	
Quantità di carica	q	coulomb	C	1C = 0,000277Ah
		ampère-ora	Ah	1Ah = 3600C
Resistenza elettrica	R	ohm	Ω	
Resistività elettrica	ρ	<i>- unità composta -</i>	$\Omega \cdot m$	$1\Omega \cdot m = 10^{-6}\Omega \cdot mm^2/m$
			$\Omega \cdot mm^2/m$	$1\Omega \cdot mm^2/m = 10^6\Omega \cdot m$
Capacità elettrica	C	farad	F	
Tempo	t	secondo	sec	1sec = 0,000277h
		ora	h	1h = 3600sec
Frequenza	f	Hertz	Hz	

Formulario

Relazione tra energia e potenza

$$E = P \cdot t \quad P = \frac{E}{t} \quad t = \frac{E}{P}$$

Energia elettrostatica

$$E = U \cdot q$$

Energia e potenza nei circuiti elettrici

$$E = U \cdot I \cdot t$$

$$P = U \cdot I \quad U = \frac{P}{I} \quad I = \frac{P}{U}$$

Legge di Joule

$$E = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$P = R \cdot I^2 \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

Relazione carica e corrente

$$I = \frac{q}{t} \quad q = I \cdot t \quad t = \frac{q}{I}$$

La 1° legge di Ohm

$$I = \frac{U}{R} \quad U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I}$$

La 2° legge di Ohm

$$R_L = \rho \cdot \frac{S}{l} \quad S = \frac{R_L \cdot l}{\rho} \quad l = \rho \cdot \frac{S}{R_L}$$

Sinusoide, relazione valore massimo - valore efficace

$$U_M = U \cdot \sqrt{2} \quad U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$$

Sinusoide, relazione periodo-frequenza

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

altre formule....

Multipli e sottomultipli nel sistema deci-

Nome	Prefisso	Valore	Potenza di 10
yotta	Y	1.000.000.000.000.000.000.000.000	10^{+24}
zetta	Z	1.000.000.000.000.000.000.000	10^{+21}
exa	E	1.000.000.000.000.000.000	10^{+18}
peta	P	1.000.000.000.000.000	10^{+15}
tera	T	1.000.000.000.000	10^{+12}
giga	G	1.000.000.000	10^{+9}
mega	M	1.000.000	10^{+6}
chilo	K	1.000	10^{+3}
		1	10^0
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	μ	0,000001	10^{-6}
nano	n	0,000000001	10^{-9}
pico	p	0,0000000000001	10^{-12}
femto	f	0,00000000000000001	10^{-15}
atto	a	0,0000000000000000001	10^{-18}
zepto	z	0,00000000000000000000001	10^{-21}
yocto	y	0,0000000000000000000000001	10^{-24}

35Ω

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

Termini del glossario correlati

Trascina termini correlati qui

Indice

Trova termine