

Eserciziario di Telecomunicazioni

Prof. Bernardis Pierluigi

Classe 2 TELQ

A.S. 2026/2027

Indice

1	Carica, campo e grandezze elettriche – Esercizi	2
1.1	La carica elettrica	2
1.2	La forza di Coulomb	3
1.3	Il campo elettrico	5
1.4	Lavoro di una forza e lavoro elettrico	7
1.5	Il ruolo del coseno di ϑ	7
1.6	La tensione elettrica	10
1.7	La corrente elettrica	11
1.8	Leggi di Ohm	12
1.9	Il codice colori dei resistori	14
1.10	Esercizi di riepilogo	15
2	Teoria dei circuiti elettrici	17
2.1	Che cos'è un circuito elettrico	17
2.2	La legge di Kirchhoff alle Tensioni (legge delle maglie)	18
2.3	La legge di Kirchhoff alle Correnti (legge dei nodi)	20
2.4	La massa	21
2.5	Partitore di tensione	22
2.6	Partitore di corrente	23
2.7	Resistenza equivalente	24
2.8	Esercizi di riepilogo	30
3	Metodi di risoluzione delle reti	32
3.1	Correnti di maglia	32
3.2	Sovrapposizione degli effetti	33
3.3	Teorema di Thévenin	33
3.4	Teorema di Norton	34
3.5	Metodo dei potenziali ai nodi	34
3.6	Teorema di Millman	35

Capitolo 1

Carica, campo e grandezze elettriche – Esercizi

1.1 La carica elettrica

1.1.1 Le particelle subatomiche

Esercizio svolto

Un corpo ha una carica netta $Q = -4,8 \times 10^{-19}$ C. Quanti elettroni in eccesso possiede?

Soluzione. La carica elementare vale $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. Il numero di cariche elementari in eccesso è:

$$n = \frac{|Q|}{e} = \frac{4,8 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} = 3.$$

Il corpo ha **3 elettroni in eccesso**. Il segno negativo della carica indica che le particelle in eccesso sono elettroni (carica negativa).

Esercizi guidati.

1. ●○○ Un corpo ha una carica netta $Q = +1,602 \times 10^{-18}$ C. Quanti protoni in eccesso possiede?

Suggerimento: usa la stessa formula dell'esercizio svolto, ma con il segno positivo.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Un corpo ha una carica netta $Q = -8 \times 10^{-19}$ C. Quanti elettroni in eccesso possiede? [5 elettroni]
2. ●○○ Un corpo ha una carica netta $Q = +3,204 \times 10^{-19}$ C. Quanti protoni in eccesso possiede? [2 protoni]
3. ●○○ Un corpo è elettricamente neutro. Cosa significa, in termini di protoni ed elettroni? [n° protoni = n° elettroni]
4. ●●○ Un corpo ha perso 5×10^{10} elettroni. Qual è la sua carica netta in coulomb? Di che segno è? [positiva; $Q = +8 \times 10^{-9}$ C]
5. ●●○ Un corpo ha una carica netta $Q = -2$ nC. Quanti elettroni in eccesso possiede? [$\approx 1,25 \times 10^{10}$ elettroni]

6. ●●● Due corpi identici hanno carica $Q_1 = +2\mu\text{C}$ e $Q_2 = -2\mu\text{C}$. Se vengono messi a contatto e poi separati, quale sarà la carica di ciascuno? [0 C (entrambi neutri)]

Domande di comprensione

1. Perché si dice che la carica elettrica è una proprietà intrinseca della materia?
2. Cosa succede, dal punto di vista delle cariche, quando si strofina un palloncino sui capelli?
3. Perché la carica elettrica totale di un corpo è sempre un multiplo intero della carica elementare e ?
4. Se un corpo ha una carica di $Q = 2,5e$, è possibile? Giustifica la risposta.

1.2 La forza di Coulomb

Applicazione diretta della legge di Coulomb

Esercizio svolto

Due cariche puntiformi $Q_1 = 2[\mu\text{C}]$ e $Q_2 = 3[\mu\text{C}]$ sono poste a una distanza $r = 10[\text{cm}]$. Calcolare il modulo della forza con cui interagiscono. Stabilire se è attrattiva o repulsiva.

Soluzione. Convertiamo le unità nel Sistema Internazionale:

$$Q_1 = 2 \times 10^{-6} [\text{C}], \quad Q_2 = 3 \times 10^{-6} [\text{C}], \quad r = 0,1 [\text{m}].$$

Applichiamo la legge di Coulomb:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 8,99 \times 10^9 \cdot \frac{2 \times 10^{-6} \cdot 3 \times 10^{-6}}{(0,1)^2}.$$

Svolgiamo i calcoli:

$$F = 8,99 \times 10^9 \cdot \frac{6 \times 10^{-12}}{10^{-2}} = 8,99 \times 10^9 \cdot 6 \times 10^{-10} = 5,394 [\text{N}].$$

Poiché le due cariche sono concordi (entrambe positive), la forza è **repulsiva**.

Esercizi guidati.

1. ●○○ Due cariche $Q_1 = 1[\mu\text{C}]$ e $Q_2 = -2[\mu\text{C}]$ sono poste a distanza $r = 5[\text{cm}]$. Calcolare il modulo della forza e stabilire se è attrattiva o repulsiva.

Suggerimento: converti le cariche in coulomb e la distanza in metri, poi applica la formula.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Due cariche $Q_1 = 4[\mu\text{C}]$ e $Q_2 = 6[\mu\text{C}]$ sono poste a distanza $r = 20[\text{cm}]$. [5,4 N; repulsiva]
Calcolare il modulo della forza e stabilirne la natura.
2. ●○○ Due cariche identiche $Q = 1[\text{nC}]$ sono poste a $r = 1[\text{m}]$. Calcolare il modulo della forza. [8,99 × 10⁻⁹ N]
3. ●○○ Una carica $Q_1 = 2[\mu\text{C}]$ è posta a $r = 30[\text{cm}]$ da una carica $Q_2 = -3[\mu\text{C}]$. [0,6 N]
Calcolare il modulo della forza.

4. ●●○ Due cariche identiche Q sono poste a $r = 20$ [cm] e si respingono con una forza di $0,9$ [N]. Calcolare il valore di Q . [2 μ C]
5. ●●○ Due cariche di 4 [μ C] e 6 [μ C] si trovano a distanza r . Se la forza tra esse vale $2,16$ [N], calcolare r . [10 cm]
6. ●○○ Se la distanza tra due cariche triplica, come cambia il modulo della forza di Coulomb? [diventa 1/9]
7. ●○○ Se una delle due cariche raddoppia e la distanza resta la stessa, come cambia il modulo della forza? [raddoppia]
8. ●●● Tre cariche puntiformi sono disposte ai vertici di un triangolo equilatero di lato $a = 10$ [cm]: $Q_1 = +1$ [μ C], $Q_2 = +1$ [μ C], $Q_3 = -1$ [μ C]. Calcolare il modulo della forza risultante sulla carica Q_3 . [$\approx 1,56$ N]
9. ●●● Due cariche $Q_1 = +2$ [μ C] e $Q_2 = +8$ [μ C] sono poste a distanza $d = 10$ [cm]. In quale punto della retta che le congiunge la forza risultante su una terza carica q è nulla? [a 3,33 cm da Q_1]
10. ●●● Due cariche $Q_1 = +4$ [μ C] e $Q_2 = -1$ [μ C] sono poste a distanza $d = 20$ [cm]. Determinare la posizione del punto in cui la forza risultante su una terza carica è nulla. [a 40 cm da Q_2 , dalla parte opposta a Q_1]

Domande di comprensione

1. Cosa indica il segno della forza di Coulomb?
2. Perché la forza di Coulomb diminuisce con il quadrato della distanza? Cosa succede se la distanza raddoppia?
3. Due cariche hanno prodotto $Q_1 Q_2 = 0$. Cosa si può dire della forza tra loro?

1.2.1 L'analisi dimensionale della costante k

Esercizio svolto

Ricavare l'unità di misura della costante k a partire dalla legge di Coulomb.

Soluzione. Dalla formula $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, isoliamo k :

$$k = \frac{F \cdot r^2}{Q_1 Q_2}.$$

Sostituiamo le unità di misura:

$$[k] = \frac{[\text{N}] \cdot [\text{m}^2]}{[\text{C}] \cdot [\text{C}]} = \frac{[\text{N}] \cdot [\text{m}^2]}{[\text{C}]^2}.$$

Esprimendo il newton come $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$, otteniamo anche:

$$[k] = \frac{[\text{kg}] \cdot [\text{m}]^3}{[\text{s}]^2 \cdot [\text{C}]^2}.$$

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Verifica che l'unità di misura $\frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$ sia equivalente a $\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^3}{\text{s}^2\cdot\text{C}^2}$. [N = kg · m/s²,
quindi le due
forme
coincidono]
2. ●●○ Ricava l'unità di misura della costante k usando la formula del campo elettrico di una carica puntiforme $E = k\frac{Q}{r^2}$. [[k] = $\frac{[\text{N}]\cdot[\text{m}^2]}{[\text{C}]^2}$]

1.3 Il campo elettrico

1.3.1 Definizione operativa

Esercizio svolto

In un punto dello spazio il campo elettrico vale $E = 500 \text{ [N/C]}$. Una carica di prova $q_0 = 2 \text{ [}\mu\text{C]}$ è posta in quel punto. Calcolare la forza che agisce su di essa.

Soluzione. Dalla definizione di campo elettrico $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$, ricaviamo:

$$F = E \cdot q_0 = 500 \cdot 2 \times 10^{-6} = 1 \times 10^{-3} \text{ [N]} = 1 \text{ [mN]}.$$

La forza è diretta nella stessa direzione del campo, perché la carica di prova è positiva.

Esercizi guidati.

1. ●○○ In un punto dello spazio agisce su una carica di prova $q_0 = 5 \text{ [nC]}$ una forza di $1 \text{ [}\mu\text{N]}$. Calcolare il modulo del campo elettrico in quel punto.
Suggerimento: usa la definizione $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ In un punto dello spazio il campo elettrico vale $E = 200 \text{ [N/C]}$. Calcolare la forza che agisce su una carica di prova $q_0 = 4 \text{ [}\mu\text{C]}$. [0,8 mN]
2. ●○○ In un punto dello spazio agisce su una carica di prova $q_0 = 2 \text{ [nC]}$ una forza di $0,4 \text{ [}\mu\text{N]}$. Calcolare il campo elettrico. [200 N/C]
3. ●○○ Una carica di prova $q_0 = 1 \text{ [nC]}$ è posta in un punto in cui il campo elettrico vale $E = 1 \text{ [kN/C]}$. Calcolare la forza. [1 μN]
4. ●●○ In un punto dello spazio il campo elettrico ha modulo $E = 100 \text{ [N/C]}$ e direzione orizzontale. Una carica $Q = -3 \text{ [}\mu\text{C]}$ è posta in quel punto. Calcolare modulo, direzione e verso della forza. [0,3 mN;
orizzontale;
verso opposto al
campo]
5. ●●○ Se in un punto il campo elettrico è nullo, cosa si può dire della forza che agisce su una carica di prova posta in quel punto? E se la carica di prova è negativa? [forza nulla in
ogni caso]

1.3.2 Il campo di una carica puntiforme

Esercizio svolto

Una carica puntiforme $Q = 5 [\mu\text{C}]$ genera un campo elettrico nello spazio circostante. Calcolare il modulo del campo a una distanza $r = 30 [\text{cm}]$ dalla carica.

Soluzione. Convertiamo le unità: $Q = 5 \times 10^{-6} [\text{C}]$, $r = 0,3 [\text{m}]$. Applicando la formula:

$$E = k \frac{Q}{r^2} = 8,99 \times 10^9 \cdot \frac{5 \times 10^{-6}}{(0,3)^2}.$$

Svolgendo:

$$E = 8,99 \times 10^9 \cdot \frac{5 \times 10^{-6}}{0,09} \approx 4,99 \times 10^5 [\text{N/C}].$$

Il campo è diretto verso l'esterno perché la carica è positiva.

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una carica $Q = 2 [\mu\text{C}]$ genera un campo elettrico. Calcolare il valore del campo a distanza $r = 10 [\text{cm}]$.

Suggerimento: applica direttamente $E = kQ/r^2$, convertendo r in metri.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Una carica $Q = -3 [\mu\text{C}]$ genera un campo elettrico. Calcolare il valore del campo a distanza $r = 15 [\text{cm}]$ e indicare il verso delle linee di campo. [$1,2 \times 10^6 \text{ N/C}$; entrante]
2. ●○○ Una carica $Q = 1 [\text{nC}]$ genera un campo elettrico. Calcolare il campo a distanza $r = 1 [\text{m}]$. [9 N/C]
3. ●●○ Una carica $Q = 10 [\mu\text{C}]$ genera un campo elettrico. A che distanza il campo vale $E = 10^5 [\text{N/C}]$? [$\approx 0,95 \text{ m}$]
4. ●●○ In un punto a distanza $r = 20 [\text{cm}]$ da una carica Q , il campo elettrico vale $E = 900 [\text{N/C}]$. Calcolare Q . [$4 \times 10^{-9} \text{ C}$]
5. ●●○ Il campo elettrico di una carica puntiforme dimezza il suo valore iniziale. Di quanto è aumentata la distanza? [di un fattore $\sqrt{2}$]
6. ●○○ Il campo elettrico di una carica puntiforme è diretto verso l'interno. Che segno ha la carica? [negativa]
7. ●●● Due cariche $Q_1 = +2 [\mu\text{C}]$ e $Q_2 = +3 [\mu\text{C}]$ sono poste a distanza $d = 10 [\text{cm}]$. In quale punto della retta che le congiunge il campo elettrico risultante è nullo? [a $4,5 \text{ cm}$ da Q_1]
8. ●●● Due cariche $Q_1 = +4 [\mu\text{C}]$ e $Q_2 = -1 [\mu\text{C}]$ sono poste a distanza $d = 20 [\text{cm}]$. Determinare la posizione del punto in cui il campo elettrico risultante è nullo. [a 40 cm da Q_2 , dalla parte opposta a Q_1]

1.3.3 Campo di corpi positivi e negativi

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una carica $Q = -5 [\mu\text{C}]$ genera un campo elettrico. Calcolare il modulo del campo a distanza $r = 25 [\text{cm}]$ e indicare il verso delle linee di campo.

Suggerimento: il modulo si calcola con $E = k|Q|/r^2$; il verso è entrante perché $Q < 0$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Descrivi come sono orientate le linee di campo di una carica positiva e di una carica negativa. Fai un disegno qualitativo. [uscenti per $Q > 0$; entranti per $Q < 0$]
2. ●○○ Una carica Q genera un campo elettrico le cui linee puntano verso l'esterno. Che segno ha Q ? [positiva]
3. ●○○ Il campo elettrico in un punto è diretto verso una carica Q . Che segno ha Q ? [negativa]
4. ●○○ Se una carica di prova positiva posta in un punto sente una forza diretta verso l'alto, in che direzione è orientato il campo elettrico in quel punto? [verso l'alto]

Domande di comprensione

1. Che cos'è il campo elettrico e perché si introduce una carica di prova per definirlo?
2. In che direzione puntano le linee di campo di una carica positiva? E di una carica negativa? Qual è il significato fisico delle linee di campo?
3. Il campo elettrico dipende dalla carica di prova? Giustifica la risposta.
4. Se la carica di prova raddoppia, cosa succede alla forza? E al campo?
5. Perché due linee di campo non si possono mai incrociare?

1.4 Lavoro di una forza e lavoro elettrico

Domande di comprensione

1. Che cos'è il lavoro di una forza?
2. In quali casi il lavoro è positivo, negativo o nullo?
3. Perché il lavoro è una grandezza scalare e non vettoriale?
4. Che differenza c'è tra lavoro di una forza generica e lavoro elettrico?

1.5 Il ruolo del coseno di ϑ

Esercizio svolto

Una forza $F = 50 [\text{N}]$ sposta un corpo di $s = 4 [\text{m}]$ lungo una direzione che forma un angolo $\vartheta = 60^\circ$ con la forza. Calcolare il lavoro compiuto.

Soluzione. Appliciamo la formula generale del lavoro:

$$L = F s \cos \vartheta = 50 \cdot 4 \cdot \cos 60^\circ.$$

Poiché $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$:

$$L = 50 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} = 100 \text{ [J]}.$$

Il lavoro è positivo, ma è la metà di quello che si avrebbe se forza e spostamento fossero paralleli ($L_{\max} = F s = 200 \text{ [J]}$).

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una forza $F = 80 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 5 \text{ [m]}$ con un angolo $\vartheta = 30^\circ$. Calcolare il lavoro, sapendo che $\cos 30^\circ \approx 0,866$.

Suggerimento: applica $L = F s \cos \vartheta$. Il risultato deve essere positivo e inferiore a $F s$.

2. ●○○ Una forza $F = 100 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 2 \text{ [m]}$ con un angolo $\vartheta = 120^\circ$. Calcolare il lavoro, sapendo che $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$.

Suggerimento: il risultato deve essere negativo perché l'angolo è ottuso.

1.5.1 Esercizi da svolgere

1. ●○○ Una forza $F = 200 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 3 \text{ [m]}$ parallelamente alla forza ($\vartheta = 0^\circ$). Calcolare il lavoro. [600 J]
2. ●○○ Una forza $F = 150 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 4 \text{ [m]}$ in direzione perpendicolare alla forza ($\vartheta = 90^\circ$). Calcolare il lavoro. [0 J]
3. ●○○ Una forza $F = 60 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 5 \text{ [m]}$ con un angolo $\vartheta = 180^\circ$. Calcolare il lavoro e spiegarne il segno. [−300 J; forza opposta allo spostamento]
4. ●●○ Una forza $F = 40 \text{ [N]}$ sposta un corpo di $s = 8 \text{ [m]}$ con un angolo $\vartheta = 60^\circ$. Calcolare il lavoro e confrontarlo con il lavoro massimo possibile $F s$. Quale frazione del massimo rappresenta? [160 J; 1/2]
5. ●●○ Una forza $F = 250 \text{ [N]}$ produce un lavoro $L = 0 \text{ [J]}$ su uno spostamento $s = 10 \text{ [m]}$. Che angolo c'è tra forza e spostamento? Quante soluzioni esistono tra 0° e 360° ? [90° o 270°; 2 soluzioni]
6. ●●● Una forza $F = 80 \text{ [N]}$ produce un lavoro $L = -400 \text{ [J]}$ su uno spostamento $s = 10 \text{ [m]}$. Calcolare $\cos \vartheta$ e l'angolo ϑ . [$\cos \vartheta = -0,5$; $\vartheta = 120^\circ$]
7. ●●● Una forza $F = 100 \text{ [N]}$ agisce su un corpo che si sposta di $s = 4 \text{ [m]}$. Il lavoro compiuto è $L = -200 \text{ [J]}$. Determinare l'angolo ϑ . [120°]

Domande di comprensione

1. Quali sono i possibili valori di $\cos \vartheta$ quando ϑ varia tra 0° e 180° ?
2. Per quale valore di ϑ il lavoro è massimo? Per quale è minimo? Per quale è nullo?
3. Se $\cos \vartheta = 0,5$, quanto vale ϑ ? Il lavoro è positivo o negativo?
4. Se $\cos \vartheta = -0,5$, quanto vale ϑ ? Il lavoro è positivo o negativo?
5. Perché il lavoro è nullo quando $\vartheta = 90^\circ$, anche se la forza è molto intensa?

6. Una forza con $\vartheta = 90^\circ$ non compie lavoro. Significa che non ha alcun effetto sul corpo?
7. Perché il lavoro è positivo per $\vartheta < 90^\circ$ e negativo per $\vartheta > 90^\circ$? Cosa succede a 90° ?
8. Perché il lavoro è una grandezza scalare e non vettoriale?
9. Cosa succede al lavoro se la forza raddoppia e l'angolo resta lo stesso? E se anche lo spostamento raddoppia?
10. Se il lavoro è nullo, cosa si può dire dell'angolo tra forza e spostamento? Ci sono altre possibilità oltre $\vartheta = 90^\circ$?
11. Nel caso $\vartheta = 180^\circ$, il lavoro è negativo. Cosa significa dal punto di vista del trasferimento di energia?

1.5.2 Il lavoro elettrico

Esercizio svolto

In un campo elettrico uniforme di intensità $E = 200 \text{ [N/C]}$, una carica $Q = 3 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta di $s = 0,2 \text{ [m]}$ nella direzione del campo. Calcolare il lavoro elettrico compiuto.

Soluzione. Convertiamo la carica in coulomb: $Q = 3 \times 10^{-6} \text{ [C]}$. Il lavoro elettrico è:

$$L_e = Q \cdot E \cdot s = 3 \times 10^{-6} \cdot 200 \cdot 0,2 = 1,2 \times 10^{-4} \text{ [J]}.$$

La tensione tra il punto iniziale e quello finale è:

$$V = \frac{L_e}{Q} = E \cdot s = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ [V]}.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una carica $Q = 1 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta di $0,5 \text{ [m]}$ in un campo di 100 [N/C] . Calcolare il lavoro elettrico e la tensione.

Suggerimento: applica $L_e = Q \cdot E \cdot s$ e $V = E \cdot s$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Una carica $Q = 2 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta di $s = 0,1 \text{ [m]}$ in un campo $E = 500 \text{ [N/C]}$. [10^{-4} J]
Calcolare il lavoro elettrico.
2. ●○○ Una carica $Q = 5 \text{ [nC]}$ si sposta di $s = 2 \text{ [cm]}$ in un campo $E = 10^4 \text{ [N/C]}$. [10^{-6} J; 200 V]
Calcolare il lavoro elettrico e la tensione.
3. ●●○ Una carica $Q = -2 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta di $s = 0,3 \text{ [m]}$ nella direzione e nel verso del campo $E = 100 \text{ [N/C]}$. Calcolare il lavoro elettrico. Il lavoro è positivo o negativo? [-6×10^{-5} J; negativo]
4. ●●○ Una carica $Q = +3 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta di $s = 0,5 \text{ [m]}$ in direzione perpendicolare a un campo $E = 200 \text{ [N/C]}$. Calcolare il lavoro elettrico. [0 J]
5. ●●○ In un campo elettrico uniforme $E = 300 \text{ [N/C]}$, una carica $Q = 4 \text{ } [\mu\text{C}]$ si sposta da A a B. Se la distanza tra A e B lungo la direzione del campo è $d = 0,1 \text{ [m]}$, calcolare il lavoro e la tensione V_{AB} . [$1,2 \times 10^{-4}$ J; 30 V]

6. ●●● Una carica $Q = 1 [\mu\text{C}]$ si muove da A a B lungo un percorso curvo in un campo elettrico uniforme $E = 500 [\text{N/C}]$. La componente dello spostamento lungo la direzione del campo è $d = 0,2 [\text{m}]$. Calcolare il lavoro elettrico e spiega perché non dipende dalla forma del percorso. [10^{-4} J; conta solo la componente lungo il campo]

Domande di comprensione

1. Che cos'è il lavoro elettrico? In quali casi è positivo e in quali è negativo?
2. Il lavoro elettrico dipende dal percorso? Giustifica la risposta.
3. Se una carica si sposta perpendicolarmente a un campo elettrico, quanto vale il lavoro compiuto?
4. Una carica negativa si sposta nel verso del campo. Il lavoro è positivo o negativo?

1.6 La tensione elettrica

Esercizio svolto

Tra due punti di un circuito esiste una tensione di $12 [\text{V}]$. Calcolare il lavoro necessario per spostare una carica di $0,5 [\text{C}]$ da un punto all'altro.

Soluzione. Dalla definizione di tensione $V = L_e/Q$, ricaviamo:

$$L_e = V \cdot Q = 12 \cdot 0,5 = 6 [\text{J}].$$

Il lavoro compiuto dal campo elettrico è di $6 [\text{J}]$.

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una carica di $2 [\text{C}]$ si sposta tra due punti tra i quali c'è una tensione di $9 [\text{V}]$. Calcolare il lavoro elettrico compiuto.

Suggerimento: usa $L_e = V \cdot Q$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Se tra due punti c'è una tensione di $5 [\text{V}]$ e viene compiuto un lavoro di $0,25 [\text{J}]$, quanta carica è stata spostata? [$0,05 \text{ C}$]
2. ●○○ Una carica di $0,1 [\text{C}]$ si sposta tra due punti con una tensione di $220 [\text{V}]$. Calcolare il lavoro. [22 J]
3. ●○○ Tra due punti c'è una tensione di $1,5 [\text{V}]$. Calcolare il lavoro per spostare una carica di $2 [\text{C}]$. [3 J]
4. ●●○ Una batteria da $9 [\text{V}]$ compie un lavoro di $0,45 [\text{J}]$ per spostare una carica da un polo all'altro. Calcolare la carica spostata. [$0,05 \text{ C}$]
5. ●●○ Il lavoro compiuto per spostare una carica $Q = 0,02 [\text{C}]$ da A a B è $L_e = 0,4 [\text{J}]$. Calcolare la tensione V_{AB} . [20 V]
6. ●●○ In un circuito, una carica $Q = 5 [\text{mC}]$ si sposta da A a B compiendo un lavoro $L_e = 0,15 [\text{J}]$. Calcolare V_{AB} . [30 V]

Domande di comprensione

1. Che cos'è la tensione elettrica? In quale unità di misura si esprime?
2. Perché la tensione non dipende dal percorso?
3. Se tra due punti c'è una tensione di 0 [V], cosa si può dire del lavoro compiuto per spostare una carica tra essi?
4. Perché la tensione è una proprietà della *coppia* di punti A e B, e non di un singolo punto?

1.7 La corrente elettrica**Esercizio svolto**

In un conduttore circola una corrente $I = 2 \text{ [A]}$ per un tempo $\Delta t = 5 \text{ [s]}$. Calcolare la carica che ha attraversato una sezione del conduttore.

Soluzione. Dalla definizione $I = \Delta Q / \Delta t$, ricaviamo:

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t = 2 \cdot 5 = 10 \text{ [C]}.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ Una carica di 50 [C] attraversa un conduttore in 10 [s]. Calcolare l'intensità di corrente.

Suggerimento: usa $I = \Delta Q / \Delta t$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Una corrente di 0,5 [A] attraversa un conduttore per 60 [s]. Calcolare la carica transitata. [30 C]
2. ●○○ Una corrente di 2 [A] attraversa un conduttore. Calcolare la carica transitata in 1 [minuto]. [120 C]
3. ●○○ Una carica di 12 [C] attraversa un conduttore in 3 [s]. Calcolare la corrente. [4 A]
4. ●●○ Una corrente di 0,2 [A] attraversa un conduttore. Quanto tempo impiega una carica di 10 [C] ad attraversare una sezione? [50 s]
5. ●●○ Quanti elettroni attraversano una sezione di un conduttore in 1 [s] se la corrente è $I = 1 \text{ [mA]}$? [$\approx 6,25 \times 10^{15}$]
6. ●●○ In un fulmine passa una carica di 15 [C] in un tempo di 30 [μs]. Calcolare la corrente media. [500 A]

Domande di comprensione

1. Definisci l'intensità di corrente e spiega il significato fisico delle grandezze che compaiono nella formula.
2. Qual è il verso convenzionale della corrente? Perché è opposto a quello degli elettroni?
3. Se in un conduttore non passa corrente, cosa si può dire del moto degli elettroni al suo interno?

1.8 Leggi di Ohm

1.8.1 La prima legge di Ohm

Esercizio svolto

Un resistore da $R = 220 [\Omega]$ è collegato a una batteria da $V = 9 [\text{V}]$. Calcolare la corrente che lo attraversa.

Soluzione. Applicando la legge di Ohm:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{220} \approx 0,041 [\text{A}] \approx 41 [\text{mA}].$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ Un resistore da $100 [\Omega]$ è collegato a una tensione di $5 [\text{V}]$. Calcolare la corrente che lo attraversa.
Suggerimento: usa $I = V/R$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Un resistore è attraversato da una corrente di $0,5 [\text{A}]$ con una tensione ai capi di $12 [\text{V}]$. Calcolare il valore della resistenza. [24 Ω]
2. ●○○ Un resistore da $1 [\text{k}\Omega]$ è collegato a una tensione di $5 [\text{V}]$. Calcolare la corrente che lo attraversa. [5 mA]
3. ●○○ Un resistore è percorso da una corrente $I = 20 [\text{mA}]$ con una tensione $V = 4 [\text{V}]$. Calcolare R . [200 Ω]
4. ●●○ Calcolare la tensione ai capi di un resistore $R = 470 [\Omega]$ percorso da una corrente $I = 15 [\text{mA}]$. [7,05 V]
5. ●●○ Un resistore da $2,2 [\text{k}\Omega]$ è percorso da una corrente $I = 3 [\text{mA}]$. Calcolare la tensione ai suoi capi. [6,6 V]
6. ●●○ In un circuito, la tensione ai capi di un resistore è $V = 24 [\text{V}]$ e la corrente è $I = 40 [\text{mA}]$. Calcolare R . [600 Ω]

Domande di comprensione

1. Enuncia la prima legge di Ohm e spiega il significato di ciascuna grandezza.
2. Che cos'è un conduttore ohmico? Fai un esempio di conduttore non ohmico.
3. Nel grafico I - V , come si riconosce un resistore con resistenza grande? E uno con resistenza piccola?
4. Perché la tensione viene rappresentata nell'asse delle ascisse?

1.8.2 La seconda legge di Ohm

Esercizio svolto

Calcolare la resistenza di un filo di rame lungo 100 [m] con una sezione di 1 [mm²]. La resistività del rame è $\rho = 0,017 [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$.

Soluzione. Applicando la seconda legge di Ohm:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,017 \cdot \frac{100}{1} = 1,7 [\Omega].$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ Un filo di alluminio lungo 50 [m] ha sezione 2 [mm²]. Calcolare la sua resistenza, sapendo che $\rho_{\text{Al}} = 0,028 [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$.
Suggerimento: usa $R = \rho \frac{l}{S}$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Calcolare la resistenza di un filo di rame lungo 1 [km] con sezione 2,5 [mm²]. [6,8 Ω]
 $\rho_{\text{Cu}} = 0,017$.
2. ●○○ Un filo di nichel-cromo ($\rho = 1,1$) è lungo 2 [m] e ha sezione 0,5 [mm²]. Calcolare la sua resistenza. [4,4 Ω]
3. ●●○ Un filo di rame ha una resistenza $R = 0,5 [\Omega]$ e una sezione $S = 1,5 [\text{mm}^2]$. Calcolare la sua lunghezza. [44 m]
4. ●●○ Si vuole realizzare un resistore da 10 [Ω] usando un filo di costantana ($\rho = 0,5$) con sezione 0,1 [mm²]. Calcolare la lunghezza necessaria. [2 m]
5. ●●● Un cavo di rame deve avere una resistenza non superiore a 0,1 [Ω] e una lunghezza di 50 [m]. Calcolare la sezione minima necessaria. [8,5 mm²]
6. ●●● Un filo di rame e uno di alluminio hanno la stessa lunghezza e la stessa resistenza. Quale dei due ha sezione maggiore? Calcolare il rapporto tra le sezioni. [alluminio; $S_{\text{Al}}/S_{\text{Cu}} \approx 1,65$]

1.8.3 I resistori e la simbologia

Esercizi guidati.

1. ●○○ Disegna il simbolo IEC e il simbolo ANSI di un resistore. In quale contesto si usa ciascuno?
Suggerimento: il simbolo IEC è un rettangolo, il simbolo ANSI è uno zigzag.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Quale simbolo (IEC o ANSI) si usa in Italia? E negli Stati Uniti? [IEC in Italia; ANSI negli USA]
2. ●○○ Disegna un circuito con due resistori in serie usando il simbolo ANSI, poi ridisegnalo con il simbolo IEC. [(disegno)]
3. ●●○ Perché i simboli dei resistori possono variare da paese a paese? [tradizioni normative diverse]

Domande di comprensione

1. Che cos'è la resistenza elettrica e da quali fattori dipende?
2. Enuncia la seconda legge di Ohm e spiega il significato di ciascuna grandezza.
3. Un filo di rame e uno di alluminio hanno la stessa lunghezza e la stessa sezione. Quale ha resistenza maggiore? Perché?

1.9 Il codice colori dei resistori**1.9.1 Come calcolare il valore****Esercizio svolto**

Un resistore ha le bande: marrone, nero, rosso, oro. Calcolare il valore e la tolleranza.

Soluzione. Le cifre sono 1 e 0, il moltiplicatore è $\times 10^2$, la tolleranza è $\pm 5\%$. Quindi:

$$R = 10 \times 10^2 [\Omega] = 1000 [\Omega] = 1 [\text{k}\Omega] \pm 5\%.$$

Esercizi guidati.

1. ●●○ Un resistore a 5 bande ha le bande: verde, blu, nero, giallo, rosso. Calcolare il valore.

Suggerimento: le cifre sono 5, 6, 0; il moltiplicatore è $\times 10^4$; la tolleranza è $\pm 2\%$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ 4 bande: rosso, rosso, marrone, argento. [22 $\Omega \pm 10\%$]
2. ●○○ 4 bande: giallo, viola, nero, oro. [47 $\Omega \pm 5\%$]
3. ●○○ 5 bande: arancione, arancione, nero, rosso, marrone. [33 $\text{k}\Omega \pm 1\%$]
4. ●○○ 5 bande: marrone, nero, nero, marrone, marrone. [1 $\text{k}\Omega \pm 1\%$]
5. ●○○ Quante cifre significative si leggono in un resistore a 4, 5 e 6 bande? [2; 3; 3]
6. ●●○ 6 bande: marrone, nero, nero, rosso, oro, marrone. [10 $\text{k}\Omega \pm 5\%$,
100 ppm/K]
7. ●●○ Resistore da $4,7 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ con 4 bande: quali colori? [giallo, viola,
rosso, oro]
8. ●●○ Bande: verde, blu, rosso, oro. Valore e intervallo. [5,6 $\text{k}\Omega \pm 5\%$;
5,32–5,88 $\text{k}\Omega$]
9. ●●● $R = 220 \Omega \pm 5\%$: intervallo possibile. [209–231 Ω]
10. ●●● Bande: marrone, nero, nero, marrone, marrone, con $V = 5 \text{ V}$. Intervallo di [1 $\text{k}\Omega$; 4,95–5,05
corrente. mA]

1.9.2 Le serie di valori normalizzati

Esercizi guidati.

1. ●○○ Che cosa sono le serie E? Perché esistono?

Suggerimento: le serie E sono valori normalizzati di resistenza, distribuiti in modo logaritmico. Esistono per ragioni produttive.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Elenca i valori della serie E12. [10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82]
2. ●●○ Un resistore da $47\ [\Omega]$ fa parte di quale serie E? Giustifica la risposta. [E12, E24, E48, ...]
3. ●●○ Un resistore da $4,7\text{ k}\Omega \pm 5\%$ fa parte della serie E24. Elenca i valori della serie E24 nella decade 1-10. [10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91]
4. ●●○ Perché la serie E192 ha più valori della serie E12? [tolleranze più strette richiedono passi più fini]

Domande di comprensione

1. Perché la banda di tolleranza è generalmente separata dalle altre?
2. Che cosa indica la sesta banda in un resistore a 6 bande?
3. In un resistore a 4 bande, la terza banda indica un moltiplicatore. Cosa significa?
4. Un resistore ha le bande oro e argento. Cosa indicano questi colori? Possono essere le prime due bande?

1.10 Esercizi di riepilogo

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Due cariche puntiformi $Q_1 = 3\ [\mu\text{C}]$ e $Q_2 = -5\ [\mu\text{C}]$ sono poste a distanza $r = 8\ [\text{cm}]$. Calcolare il modulo della forza e stabilirne la natura. [21,1 N; attrattiva]
2. ●○○ Un corpo ha una carica netta $Q = -3,2 \times 10^{-18}\ \text{C}$. Quanti elettroni in eccesso possiede? [20 elettroni]
3. ●○○ Una carica $Q = 4\ [\mu\text{C}]$ si trova in un campo elettrico uniforme $E = 250\ [\text{N/C}]$. Calcolare la forza che agisce su di essa. [1 mN]

4. ●○○ Un resistore da $330\ [\Omega]$ è collegato a una tensione di $12\ [V]$. Calcolare la corrente che lo attraversa. [36,4 mA]
5. ●○○ Una corrente di $0,4\ [A]$ attraversa un conduttore per $2\ [minuti]$. Calcolare la carica transitata. [48 C]
6. ●○○ Un resistore a 4 bande ha i colori: marrone, nero, arancione, oro. Calcolare il valore e la tolleranza. [10 k Ω $\pm$ 5%]
7. ●●○ Una carica $Q = 2\ [\mu C]$ si sposta di $s = 0,4\ [m]$ nella direzione di un campo $E = 150\ [N/C]$. Calcolare il lavoro elettrico e la tensione. [$1,2 \times 10^{-4}$ J; 60 V]
8. ●●○ Una carica puntiforme $Q = 6\ [\mu C]$ genera un campo elettrico. Calcolare il campo a $r = 25\ [cm]$. [$8,63 \times 10^5$ N/C; uscente]
9. ●●○ Tra due punti c'è una tensione di $24\ [V]$. Calcolare il lavoro per spostare una carica di $0,3\ [C]$. [7,2 J]
10. ●●○ Un filo di rame è lungo $200\ [m]$ e ha una sezione di $1,5\ [mm^2]$. Calcolare R . [2,27 Ω]
11. ●●○ 5 bande: rosso, viola, nero, marrone, marrone. Valore, tolleranza e corrente con $V = 5\ [V]$. [2,7 k Ω ; 1,85 mA]
12. ●●○ In un punto dello spazio $E = 800\ [N/C]$. Calcolare la forza su $q_0 = 3\ [nC]$. [2,4 μN]
13. ●●○ $R = 470\ \Omega \pm 5\%$ con $V = 9\ [V]$. Corrente nominale e intervallo. [18,2–20,2 mA]
14. ●●● Due cariche $Q_1 = +5\ [\mu C]$ e $Q_2 = +5\ [\mu C]$ a $d = 12\ [cm]$. Punto in cui E risultante è nullo. [al centro, a 6 cm da ciascuna]
15. ●●● Filo di alluminio e di rame con stessa R e stessa l . Se $S_{Cu} = 0,1\ mm^2$, calcolare S_{Al} . [0,165 mm²]
16. ●●● Una carica puntiforme Q genera $E = 1,8 \times 10^4\ [N/C]$ a $r = 5\ [cm]$. Calcolare Q . [5×10^{-9} C]
17. ●●● Una carica $Q = 3\ [\mu C]$ si muove da A a B in $E = 400\ [N/C]$ lungo $d = 0,3\ [m]$ con angolo 30° . Calcolare L_e e V_{AB} . [$3,1 \times 10^{-4}$ J; 104 V]

Capitolo 2

Teoria dei circuiti elettrici

2.1 Che cos'è un circuito elettrico

Domande di comprensione

1. Che cos'è un circuito elettrico e perché deve essere chiuso perché la corrente circoli?
2. Quali sono i tre tipi di componenti fondamentali di un circuito? Fai un esempio per ciascuno.
3. Qual è la differenza tra un circuito aperto e un circuito chiuso? Fai un esempio.
4. A cosa serve un interruttore in un circuito?
5. In un circuito ideale, come si considera la resistenza dei fili? E in un circuito reale?

2.1.1 Il nodo

Domande di comprensione

1. Che cos'è un nodo in un circuito elettrico?
2. Perché due soli conduttori che si incontrano non formano un nodo?
3. Fai un esempio di circuito con un nodo e uno senza nodi.
4. In un circuito con una pila e due lampadine in parallelo, quanti nodi ci sono?

2.1.2 La maglia

Domande di comprensione

1. Che cos'è una maglia in un circuito elettrico?
2. Che differenza c'è tra maglia e maglia elementare?
3. In un circuito a scala con 3 maglie disposte in cascata, quante maglie elementari ci sono?
Quante maglie totali?
4. Perché, applicando la legge delle maglie, conviene scegliere le maglie elementari?

2.2 La legge di Kirchhoff alle Tensioni (legge delle maglie)

Esercizio svolto

In una maglia sono presenti una pila con $V = 12 \text{ [V]}$ e due resistori in serie, $R_1 = 4 \text{ [\Omega]}$ e $R_2 = 2 \text{ [\Omega]}$. Calcolare la corrente che circola.

Soluzione. Scegliamo come verso di percorrenza quello orario. Percorrendo la maglia:

- attraverso la pila si passa dal polo negativo al polo positivo: guadagno $+V$;
- attraverso R_1 la corrente ha lo stesso verso del percorso: caduta $-R_1 I$;
- attraverso R_2 la corrente ha lo stesso verso del percorso: caduta $-R_2 I$.

Applicando la LKT:

$$V - R_1 I - R_2 I = 0.$$

Da cui:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{12}{4 + 2} = 2 \text{ [A]}.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ In una maglia ci sono una pila da 6 [V] e due resistori in serie da $1 \text{ [\Omega]}$ e $2 \text{ [\Omega]}$. Calcolare la corrente.

Suggerimento: applica $V - R_1 I - R_2 I = 0$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ In una maglia ci sono una pila da 12 [V] e tre resistori in serie da $2 \text{ }\Omega$, $3 \text{ }\Omega$ e $5 \text{ }\Omega$. [1,2 A]
Calcolare la corrente.
2. ●○○ In una maglia ci sono una pila da 9 [V] e due resistori $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$. [3 A]
Calcolare la corrente.
3. ●○○ In una maglia ci sono due pile in serie, $V_1 = 4,5 \text{ [V]}$ e $V_2 = 1,5 \text{ [V]}$, e un resistore $R = 3 \text{ [\Omega]}$. Calcolare la corrente. [2 A]
4. ●●○ In una maglia ci sono una pila da 9 [V] , $R_1 = 2 \text{ }\Omega$ e un resistore incognito R_2 . [4 Ω]
Se la corrente vale $1,5 \text{ [A]}$, calcolare R_2 .
5. ●●○ In una maglia circola una corrente di $0,5 \text{ [A]}$. La pila ha una fem di 6 [V] . [12 Ω]
Calcolare la resistenza totale del circuito.
6. ●●● In una maglia ci sono una pila $V = 9 \text{ [V]}$ e tre resistori in serie $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$, $R_3 = 3 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente e la tensione ai capi di ciascun resistore. [$I = 1,5 \text{ A}$;
 $V_1 = 1,5 \text{ V}$,
 $V_2 = 3 \text{ V}$,
 $V_3 = 4,5 \text{ V}$]

2.2.1 Dimostrazione LKT

Esercizi guidati.

1. ●●○ In un percorso chiuso con quattro nodi A, B, C, D , le tensioni sono $V_{BA}, V_{CB}, V_{DC}, V_{AD}$. Scrivi la loro somma e verifica che è nulla espandendo ogni termine come differenza di potenziale.

Suggerimento: $V_{BA} = V_B - V_A$, $V_{CB} = V_C - V_B$, ecc.

Esercizi da svolgere.

1. ●●○ In un percorso chiuso con cinque nodi A, B, C, D, E , le tensioni sono $V_{BA}, V_{CB}, V_{DC}, V_{ED}, V_{AE}$. Dimostra che la loro somma è nulla. [la somma telescopica dà $V_A - V_A = 0$]
2. ●●● In un percorso chiuso, le tensioni sono $V_1 = 5 \text{ [V]}$, $V_2 = -3 \text{ [V]}$, $V_3 = 4 \text{ [V]}$, V_4 incognita. Calcolare V_4 . [-6 V]

2.2.2 La convenzione dei segni**Esercizio svolto**

In una maglia ci sono due generatori in opposizione $V_1 = 12 \text{ [V]}$ e $V_2 = 6 \text{ [V]}$, e due resistori $R_1 = 3 \text{ [}\Omega\text{]}$, $R_2 = 1 \text{ [}\Omega\text{]}$. Calcolare la corrente.

Soluzione. Scegliamo come verso di percorrenza quello orario. Percorrendo la maglia:

- attraverso V_1 si passa dal polo negativo al polo positivo: guadagno $+V_1$;
- attraverso R_1 e R_2 : caduta $-R_1 I$ e $-R_2 I$;
- attraverso V_2 si passa dal polo positivo al polo negativo: guadagno $-V_2$.

Applicando la LKT:

$$V_1 - R_1 I - R_2 I - V_2 = 0.$$

Da cui:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 6}{3 + 1} = 1,5 \text{ [A]}.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ In una maglia ci sono due generatori in opposizione $V_1 = 6 \text{ [V]}$ e $V_2 = 2 \text{ [V]}$, e un resistore $R = 4 \text{ [}\Omega\text{]}$. Calcolare la corrente.
Suggerimento: $I = \frac{V_1 - V_2}{R}$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Due generatori in opposizione $V_1 = 10 \text{ [V]}$, $V_2 = 4 \text{ [V]}$, e due resistori $R_1 = 2 \text{ }\Omega$, $R_2 = 4 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente. [1 A]
2. ●●○ Due generatori in opposizione $V_1 = 9 \text{ [V]}$, $V_2 = 3 \text{ [V]}$, e un resistore $R = 2 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente. Se la corrente risultasse negativa, cosa significherebbe? [3 A; il verso reale è opposto a quello scelto]
3. ●●○ Tre generatori: $V_1 = 10 \text{ [V]}$ (favorevole), $V_2 = 4 \text{ [V]}$ (contrario), $V_3 = 2 \text{ [V]}$ (contrario). $R_1 = 2 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente. [1 A]
4. ●●● Due generatori $V_1 = 12 \text{ [V]}$ (favorevole) e $V_2 = 6 \text{ [V]}$ (contrario), con $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$, $R_3 = 3 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente. [1 A]
5. ●●● Un generatore $V = 10 \text{ [V]}$ e tre resistori $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$, $R_3 = 3 \text{ }\Omega$. Calcolare la corrente e la tensione ai capi di ciascun resistore. Verificare che la somma delle tensioni sui resistori è uguale a V . [$I \approx 1,67 \text{ A}$; $V_1 \approx 1,67 \text{ V}$, $V_2 \approx 3,33 \text{ V}$, $V_3 = 5 \text{ V}$]

Domande di comprensione

1. Enuncia la legge di Kirchhoff alle tensioni e spiega il significato fisico.
2. Qual è la convenzione dei segni da usare nella legge delle maglie? Perché è importante non cambiarla a metà calcolo?
3. Se in una maglia ci sono due generatori in opposizione, come si scrive la LKT?
4. In un circuito con una sola maglia, la corrente che circola è sempre nello stesso verso? Giustifica la risposta.

2.3 La legge di Kirchhoff alle Correnti (legge dei nodi)**Esercizio svolto**

In un nodo convergono quattro conduttori. Entrano $I_1 = 4\text{ [A]}$ e $I_2 = 3\text{ [A]}$; esce $I_3 = 5\text{ [A]}$. Calcolare la corrente I_4 nel quarto ramo.

Soluzione. Appliciamo la LKC: la somma delle correnti entranti è uguale alla somma delle correnti uscenti.

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4.$$

Sostituendo i valori:

$$4 + 3 = 5 + I_4 \quad \Rightarrow \quad I_4 = 2\text{ [A]}.$$

La corrente I_4 esce dal nodo.

Esercizi guidati.

1. ●○○ In un nodo entrano $I_1 = 6\text{ [A]}$ e $I_2 = 2\text{ [A]}$, ed esce $I_3 = 5\text{ [A]}$. Calcolare I_4 e stabilirne il verso.
Suggerimento: usa $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Cinque rami: entrano $I_1 = 3\text{ [A]}$, $I_2 = 4\text{ [A]}$, $I_3 = 1\text{ [A]}$; esce $I_4 = 2\text{ [A]}$. [6 A]
Calcolare I_5 .
2. ●○○ Entrano $I_1 = 1,5\text{ [A]}$, $I_2 = 2,5\text{ [A]}$, $I_3 = 3\text{ [A]}$. Escono $I_4 = 4\text{ [A]}$ e I_5 . Calcolare [3 A]
 I_5 .
3. ●○○ La somma delle correnti entranti è 10 [A] . Le uscenti sono $I_1 = 2\text{ [A]}$, $I_2 = 3\text{ [A]}$, [5 A]
 I_3 . Calcolare I_3 .
4. ●●○ Entrano $I_1 = 2\text{ [A]}$ e $I_2 = 3\text{ [A]}$, esce $I_3 = 7\text{ [A]}$. È possibile? Giustifica la [no; violerebbe
la LKC]
risposta.
5. ●●○ Sei rami: entrano $I_1 = 1\text{ [A]}$, $I_2 = 2\text{ [A]}$, $I_3 = 3\text{ [A]}$; escono $I_4 = 0,5\text{ [A]}$, [4 A]
 $I_5 = 1,5\text{ [A]}$. Calcolare I_6 .
6. ●●● Entrano $I_1 = 4\text{ [A]}$ e I_2 incognita. Escono $I_3 = 5\text{ [A]}$, $I_4 = 2\text{ [A]}$, $I_5 = 1\text{ [A]}$. [4 A]
Calcolare I_2 .

Domande di comprensione

1. Enuncia la legge di Kirchhoff alle correnti e spiega il significato fisico.
2. Perché si parla di “conservazione della carica”? Che legame c'è con la LKC?
3. In un nodo con tre rami, entra una corrente di 2 [A] ed esce una corrente di 2 [A] . Quanto vale la terza corrente?
4. Se in un nodo la somma delle correnti entranti è 0 [A] , cosa si può dire delle correnti uscenti?

2.4 La massa**Domande di comprensione**

1. Che cos'è la massa in un circuito? Perché è necessaria?
2. La massa assorbe corrente? Giustifica la risposta.
3. Perché la scelta della massa è arbitraria?
4. Nei circuiti reali, a cosa è spesso collegata la massa?

2.4.1 Perché serve un riferimento**Esercizi guidati.**

1. ●○○ In un circuito con tre nodi A , B , C , scegliamo C come massa. I potenziali sono $V_A = 5\text{ [V]}$, $V_B = 3\text{ [V]}$. Calcolare V_{AB} , V_{BC} , V_{AC} .

Suggerimento: $V_{XY} = V_X - V_Y$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ Spiega con parole tue perché il potenziale di un nodo non ha valore assoluto. [solo le differenze hanno significato]
2. ●○○ $V_A = 4\text{ [V]}$ e $V_B = 6\text{ [V]}$ rispetto a massa. Calcolare V_{AB} e V_{BA} . $[V_{AB} = -2\text{ V};$
 $V_{BA} = +2\text{ V}]$
3. ●●○ Massa in C : $V_A = 10\text{ [V]}$, $V_B = 4\text{ [V]}$, $V_C = 0\text{ [V]}$. Se spostiamo la massa in B , quali sono i nuovi potenziali? $[V'_A = 6\text{ V},$
 $V'_B = 0\text{ V},$
 $V'_C = -4\text{ V}]$
4. ●●○ $V_A = 12\text{ [V]}$, $V_B = 5\text{ [V]}$ rispetto a massa. Calcolare V_{AB} . Se massa in A : quanto valgono V_A , V_B ? $[V_{AB} = 7\text{ V};$
 $V'_A = 0\text{ V},$
 $V'_B = -7\text{ V}]$
5. ●●● Massa in C : $V_A = 8\text{ [V]}$, $V_B = 3\text{ [V]}$. Calcolare V_{AB} , V_{BC} , V_{AC} . Poi massa in A : ricalcolare tutti i potenziali. $[V_{AB} = 5\text{ V},$
 $V_{BC} = 3\text{ V},$
 $V_{AC} = 8\text{ V};$
 $V'_A = 0,$
 $V'_B = -5\text{ V},$
 $V'_C = -8\text{ V}]$

Domande di comprensione

1. Cosa cambia e cosa non cambia quando si sposta la massa in un altro nodo?
2. Perché una tensione non ha mai valore assoluto?
3. Se in un circuito tutti i potenziali sono misurati rispetto alla stessa massa, le differenze di potenziale cambiano se si sceglie un'altra massa? Giustifica.

2.5 Partitore di tensione**Esercizio svolto**

Un partitore di tensione ha $V_{in} = 12 [V]$, $R_1 = 4 [\Omega]$, $R_2 = 2 [\Omega]$. Calcolare V_{out} ai capi di R_2 .

Soluzione. Appliciamo la formula del partitore:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{2}{4 + 2} = 4 [V].$$

La tensione ai capi di R_1 è $V_{R_1} = 8 [V]$.

Esercizi guidati.

1. ●○○ Partitore con $V_{in} = 9 [V]$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$. Calcolare la tensione ai capi di ciascun resistore.
Suggerimento: usa $V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

Esercizi da svolgere.

1. ●○○ $V_{in} = 24 [V]$, $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$. Calcolare V_{out} ai capi di R_2 . [8 V]
2. ●○○ $V_{in} = 10 [V]$, $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$. Calcolare V_{R_1} e V_{R_2} . [$V_{R_1} = 4 \text{ V}$,
 $V_{R_2} = 6 \text{ V}$]
3. ●●○ $V_{in} = 15 [V]$, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$. Calcolare V_{out} e la corrente. [$V_{out} = 10 \text{ V}$;
 $I = 50 \text{ mA}$]
4. ●●○ $V_{in} = 12 [V]$, $V_{out} = 3 [V]$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Calcolare R_1 . [3 kΩ]
5. ●●○ $V_{in} = 9 [V]$, $R_1 = 470 \Omega$, $R_2 = 330 \Omega$. Calcolare V_{out} . [$\approx 3,71 \text{ V}$]
6. ●●● $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$ in serie, $V_{in} = 60 [V]$. Calcolare la tensione ai capi di ciascun resistore. [10 V, 20 V, 30 V]
7. ●●● $V_{in} = 12 [V]$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Calcolare V_{out} . Poi aggiungere $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ in serie dopo R_2 e ricalcolare V_{out} su R_2 . [6 V; 4 V]

Domande di comprensione

1. Enuncia la formula del partitore di tensione e spiega il significato di ciascuna grandezza.
2. In un partitore di tensione, su quale resistore cade la tensione maggiore?
3. Un partitore ha $R_1 = 0 [\Omega]$. Cosa succede alla tensione di uscita?
4. Se $R_2 \rightarrow \infty$, quanto vale V_{out} ?

2.6 Partitore di corrente

Esercizio svolto

Un partitore di corrente ha $I_{\text{tot}} = 6 \text{ [A]}$, $R_1 = 2 \text{ [\Omega]}$, $R_2 = 4 \text{ [\Omega]}$. Calcolare I_1 e I_2 .

Soluzione. Applichiamo le formule del partitore:

$$I_1 = I_{\text{tot}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6 \cdot \frac{4}{6} = 4 \text{ [A]},$$

$$I_2 = I_{\text{tot}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 6 \cdot \frac{2}{6} = 2 \text{ [A]}.$$

Verifica: $I_1 + I_2 = 6 \text{ [A]} = I_{\text{tot}}$.

Esercizi guidati.

1. $\bullet \circ \circ$ $I_{\text{tot}} = 1 \text{ [A]}$, $R_1 = 100 \text{ }\Omega$, $R_2 = 200 \text{ }\Omega$. Calcolare I_1 e I_2 .

Suggerimento: $I_1 = I_{\text{tot}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

Esercizi da svolgere.

- $\bullet \circ \circ$ $I_{\text{tot}} = 3 \text{ [A]}$, $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$. Calcolare I_1 e I_2 . [$I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = 1 \text{ A}$]
- $\bullet \bullet \circ$ $I_{\text{tot}} = 10 \text{ [A]}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$. Calcolare I_1 e I_2 . [$I_1 = 8 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$]
- $\bullet \bullet \circ$ $I_1 = 4 \text{ [A]}$, $I_{\text{tot}} = 6 \text{ [A]}$, $R_2 = 4 \text{ }\Omega$. Calcolare R_1 . [$2 \text{ }\Omega$]
- $\bullet \bullet \circ$ $R_1 = 10 \text{ }\Omega$, $R_2 = 20 \text{ }\Omega$, $R_3 = 30 \text{ }\Omega$ in parallelo, $I_{\text{tot}} = 11 \text{ [A]}$. Calcolare le correnti in ciascun ramo. [$I_1 = 6 \text{ A}$, $I_2 = 3 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$]
- $\bullet \bullet \bullet$ $I_{\text{tot}} = 5 \text{ [A]}$, $R_1 = 2 \text{ }\Omega$, $R_2 = 3 \text{ }\Omega$. Calcolare la tensione ai capi dei resistori e le correnti. [$V = 6 \text{ V}$; $I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$]
- $\bullet \bullet \bullet$ $I_{\text{tot}} = 12 \text{ [A]}$, $R_1 = 1 \text{ }\Omega$, $R_2 = 2 \text{ }\Omega$, $R_3 = 3 \text{ }\Omega$ in parallelo. Calcolare I_1 , I_2 , I_3 e verificare la LKC. [$I_1 \approx 6,55 \text{ A}$,
 $I_2 \approx 3,27 \text{ A}$,
 $I_3 \approx 2,18 \text{ A}$]
- $\bullet \bullet \bullet$ In un partitore, se $R_1 = R_2$, come si ripartisce I_{tot} ? E se $R_1 = 3R_2$? [metà ciascuno;
 $I_1 = I_{\text{tot}}/4$,
 $I_2 = 3I_{\text{tot}}/4$]

Domande di comprensione

- Enuncia le formule del partitore di corrente e spiega il significato di ciascuna grandezza.
- In un partitore di corrente, il ramo con resistenza maggiore è percorso da corrente maggiore o minore? Perché?
- Se $R_1 \rightarrow \infty$, quanta corrente passa in R_1 ? E in R_2 ?
- Se $R_1 \rightarrow 0$, quanta corrente passa in R_1 ? E in R_2 ?

2.7 Resistenza equivalente

2.7.1 Il collegamento in serie

Esercizio svolto

Tre resistori $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 22\ \Omega$, $R_3 = 47\ \Omega$ sono collegati in serie. Calcolare la resistenza equivalente.

Soluzione. La resistenza equivalente di resistori in serie è la somma:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 22 + 47 = 79\ \Omega.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ $R_1 = 47\ \Omega$ e $R_2 = 33\ \Omega$ in serie. Calcolare R_{eq} .

Suggerimento: $R_{eq} = R_1 + R_2$.

Esercizi da svolgere.

- $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 22\ \Omega$, $R_3 = 33\ \Omega$, $R_4 = 47\ \Omega$ in serie. Calcolare R_{eq} . [112 Ω]
- Due resistori in serie hanno $R_{eq} = 500\ \Omega$. Uno vale 220 Ω . Calcolare l'altro. [280 Ω]
- 1 k Ω in serie con 2,2 k Ω . Calcolare R_{eq} e la corrente con $V = 12\ \text{V}$. [$R_{eq} = 3,2\ \text{k}\Omega$;
 $I \approx 3,75\ \text{mA}$]
- Cinque resistori identici da 100 Ω in serie. Calcolare R_{eq} . [500 Ω]
- Tre resistori in serie hanno $R_{eq} = 1\ \text{k}\Omega$. $R_1 = 100\ \Omega$ e $R_2 = 2R_3$. Calcolare R_2 e R_3 . [$R_3 = 300\ \Omega$,
 $R_2 = 600\ \Omega$]
- R_1 in serie con il parallelo $R_2 = R_3 = 100\ \Omega$. Se $R_{eq} = 250\ \Omega$, calcolare R_1 . [200 Ω]

Domande di comprensione

- Come si calcola la resistenza equivalente di più resistori in serie?
- Perché la resistenza equivalente di una serie è sempre maggiore della più grande delle resistenze?
- Se due resistori in serie hanno la stessa resistenza R , quanto vale R_{eq} ?

2.7.2 Il collegamento in parallelo

Esercizio svolto

Due resistori $R_1 = 100\ \Omega$ e $R_2 = 150\ \Omega$ sono in parallelo. Calcolare la resistenza equivalente.

Soluzione. Per due resistori in parallelo:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 150}{250} = 60\ \Omega.$$

Esercizi guidati.

1. ●○○ $R_1 = 100\ \Omega$ e $R_2 = 100\ \Omega$ in parallelo. Calcolare R_{eq} .

Suggerimento: due resistori uguali in parallelo danno metà del valore di uno solo.

Esercizi da svolgere.

1. $\bullet \circ \circ$ $R_1 = 220 \Omega$ e $R_2 = 330 \Omega$ in parallelo. Calcolare R_{eq} . [132 Ω]
2. $\bullet \circ \circ$ $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 300 \Omega$ in parallelo. Calcolare R_{eq} . [$\approx 54,5 \Omega$]
3. $\bullet \bullet \circ$ Due resistori in parallelo hanno $R_{eq} = 30 \Omega$. Uno vale 50Ω . Calcolare l'altro. [75 Ω]
4. $\bullet \bullet \circ$ Tre resistori identici da 300Ω in parallelo. Calcolare R_{eq} . [100 Ω]
5. $\bullet \bullet \bullet$ Quattro resistori identici R in parallelo hanno $R_{eq} = 25 \Omega$. Calcolare R . [100 Ω]
6. $\bullet \bullet \bullet$ $R_1 = 100 \Omega$ in parallelo con la serie $R_2 = 50 \Omega$, $R_3 = 50 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [50 Ω]

Domande di comprensione

1. Come si calcola la resistenza equivalente di più resistori in parallelo?
2. Perché la resistenza equivalente di un parallelo è sempre minore della più piccola delle resistenze?
3. Se due resistori in parallelo hanno la stessa resistenza R , quanto vale R_{eq} ?
4. Cosa succede alla resistenza equivalente se si aggiunge un ramo in parallelo?

2.7.3 Serie e parallelo combinati**Esercizio svolto**

$R_1 = 10 \Omega$ in serie con il parallelo di $R_2 = 20 \Omega$ e $R_3 = 30 \Omega$. Calcolare R_{eq} .

Soluzione. Prima il parallelo:

$$R_{23} = \frac{20 \cdot 30}{50} = 12 \Omega.$$

Poi la serie:

$$R_{eq} = R_1 + R_{23} = 10 + 12 = 22 \Omega.$$

Esercizi guidati.

1. $\bullet \bullet \circ$ $R_1 = 100 \Omega$ in serie con il parallelo di $R_2 = 100 \Omega$ e $R_3 = 100 \Omega$. Calcolare R_{eq} .
Suggerimento: prima calcola il parallelo, poi somma R_1 .

Esercizi da svolgere.

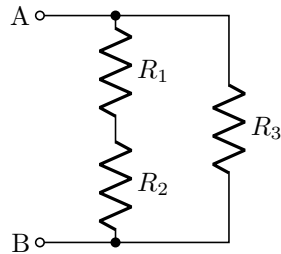
1. $\bullet \circ \circ$ $R_1 = 47 \Omega$ in serie con il parallelo di $R_2 = R_3 = 47 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [70,5 Ω]
2. $\bullet \bullet \circ$ Due resistori in parallelo (30 Ω , 60 Ω) in serie con $R_3 = 20 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [40 Ω]
3. $\bullet \bullet \circ$ $R_1 = 10 \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = 15 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$. Calcolare R_{eq} e la corrente con $V = 24 \text{ V}$. [$R_{eq} = 20 \Omega$;
 $I = 1,2 \text{ A}$]
4. $\bullet \bullet \circ$ $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$ tutti in parallelo. Calcolare R_{eq} . [$\approx 5,45 \Omega$]
5. $\bullet \bullet \bullet$ $R_1 = 100 \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = R_3 = 200 \Omega$. Calcolare R_{eq} e la corrente con $V = 12 \text{ V}$. [$R_{eq} = 200 \Omega$;
 $I = 60 \text{ mA}$]
6. $\bullet \bullet \bullet$ $R_1 = 50 \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 150 \Omega$; il tutto in parallelo con $R_4 = 75 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [50 Ω]

7. ●●● $R_1 = 2\ \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = R_3 = 4\ \Omega$, poi il tutto in serie con $R_4 = 3\ \Omega$. Calcolare R_{eq} . [7 Ω]

Esercizi con circuiti

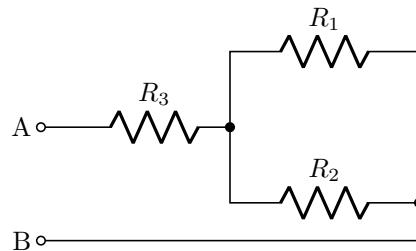
- Dati: $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 30\ \Omega$, $R_3 = 10\ \Omega$.

$$[R_{eq} = 10 + \frac{30 \cdot 10}{40} = 17,5\ \Omega]$$



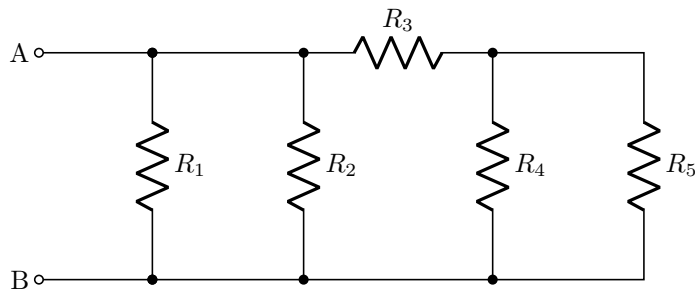
- Dati: $R_1 = 14\ \Omega$, $R_2 = 35\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$.

$$[R_{eq} = 20 + \frac{14 \cdot 35}{49} = 30\ \Omega]$$



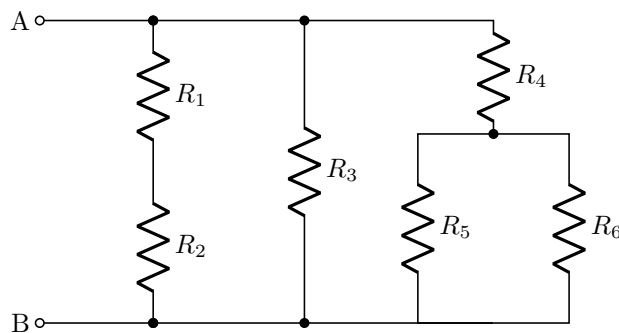
- Dati: $R_1 = 6\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 15\ \Omega$, $R_4 = 20\ \Omega$, $R_5 = 60\ \Omega$.

$$[R_{eq} \approx 23\ \Omega]$$



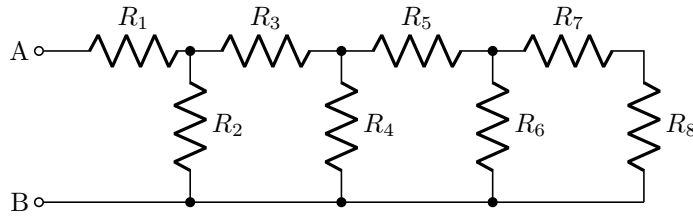
- Dati: $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 15\ \Omega$, $R_4 = 5\ \Omega$, $R_5 = 15\ \Omega$, $R_6 = 30\ \Omega$.

$$[R_{eq} \approx 21,7\ \Omega]$$



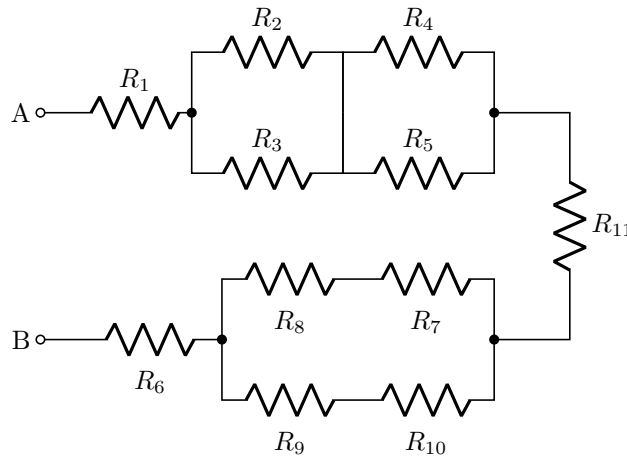
••○ Dati: $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 3\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$, $R_4 = 6\ \Omega$, $R_5 = 4\ \Omega$, $R_6 = 3\ \Omega$, $R_7 = 2\ \Omega$,
 $R_8 = 4\ \Omega$.

$[R_{eq} \approx 7\ \Omega]$



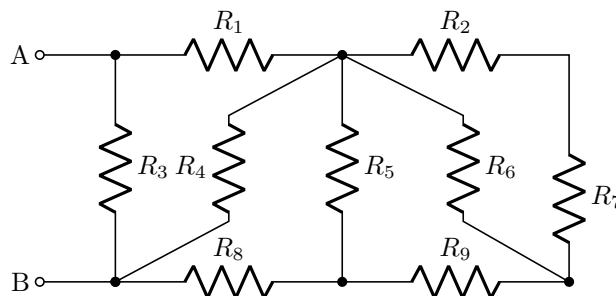
••• Dati: $R_1 = 8\ \Omega$, $R_2 = 30\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$, $R_4 = 40\ \Omega$, $R_5 = 60\ \Omega$, $R_6 = 4\ \Omega$,
 $R_7 = 5\ \Omega$, $R_8 = 25\ \Omega$, $R_9 = 35\ \Omega$, $R_{10} = 40\ \Omega$, $R_{11} = 6\ \Omega$.

$[R_{eq} \approx 17\ \Omega]$

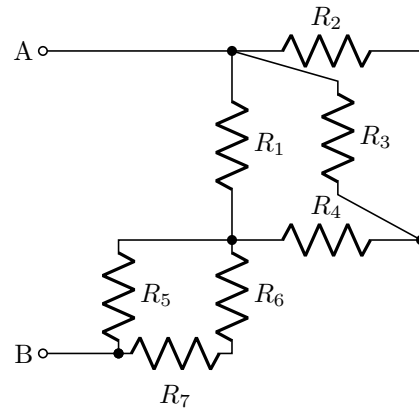


••• Dati: $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 4\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$, $R_4 = 8\ \Omega$, $R_5 = 6\ \Omega$, $R_6 = 4\ \Omega$, $R_7 = 8\ \Omega$,
 $R_8 = 4\ \Omega$, $R_9 = 9\ \Omega$.

$[R_{eq} \approx 6\ \Omega]$

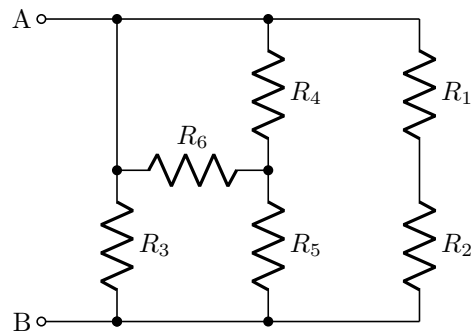


••• Dati: $R_1 = 60\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 30\ \Omega$, $R_4 = 18\ \Omega$, $R_5 = 15\ \Omega$, $R_6 = 20\ \Omega$, $R_7 = 40\ \Omega$. [$R_{eq} \approx 15\ \Omega$]



••○ Dati: $R_1 = 50\ \Omega$, $R_2 = 30\ \Omega$, $R_3 = 50\ \Omega$, $R_4 = 40\ \Omega$, $R_5 = 17\ \Omega$, $R_6 = 10\ \Omega$.

$[R_{eq} \approx 55\ \Omega]$



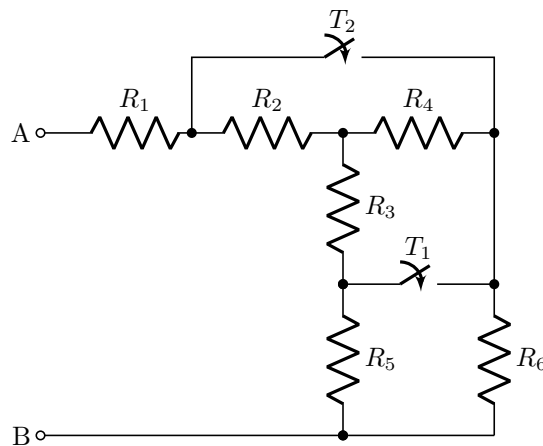
••• Dati: $R_1 = 50\ \Omega$, $R_2 = 50\ \Omega$, $R_3 = 200\ \Omega$, $R_4 = 200\ \Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$, $R_6 = 100\ \Omega$.

[1) $R_{eq} = 400\ \Omega$;

2) $R_{eq} = 300\ \Omega$;

3) $R_{eq} = 350\ \Omega$;

4) $R_{eq} = 250\ \Omega]$



1) T_1 e T_2 aperti;

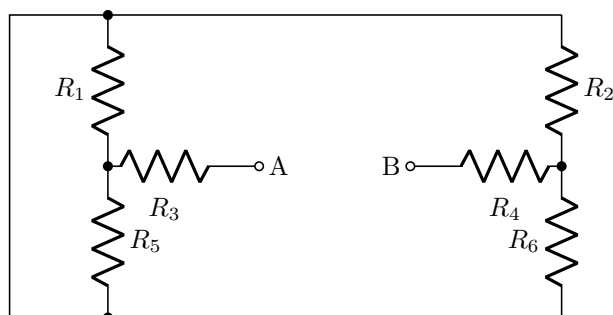
2) T_1 aperto e T_2 chiuso;

3) T_1 chiuso e T_2 aperto;

4) T_1 e T_2 chiusi.

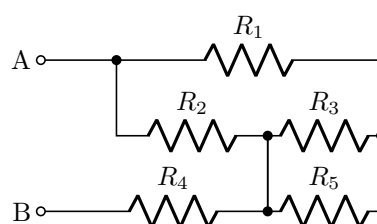
••• Dati: $R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 6\ \Omega$, $R_3 = 10\ \Omega$, $R_4 = 8\ \Omega$, $R_5 = 20\ \Omega$, $R_6 = 3\ \Omega$.

$[R_{eq} \approx 17\ \Omega]$



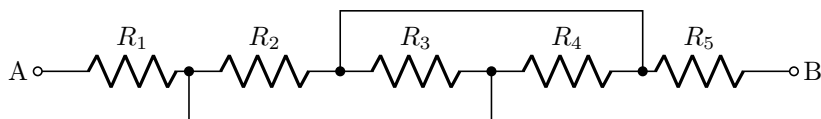
••• Dati: $R_1 = 2/3\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$, $R_3 = 4\ \Omega$, $R_4 = 1\ \Omega$, $R_5 = 2\ \Omega$.

$[R_{eq} = 2\ \Omega]$



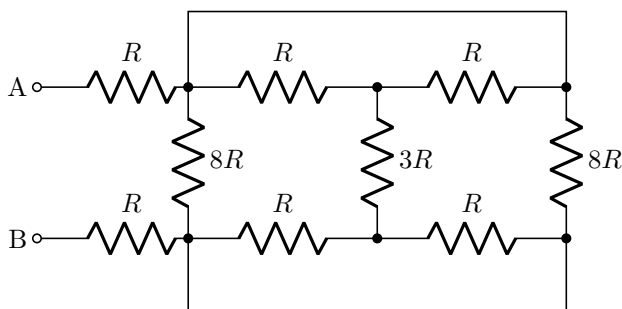
- Dati: $R_1 = 400\ \Omega$, $R_2 = 1\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 2\ \text{k}\Omega$, $R_4 = 3\ \text{k}\Omega$, $R_5 = 500\ \Omega$.

$$[R_{eq} \approx 1,13\ \text{k}\Omega]$$



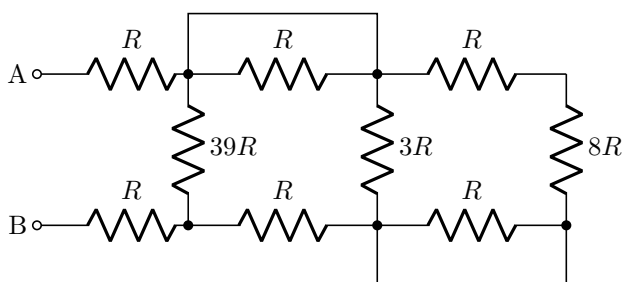
- Tutti i resistori orizzontali valgono R ; i rami verticali valgono $8R$ e $3R$ come indicato.

$$[R_{eq} = \frac{13}{7}R \approx 1,86R]$$



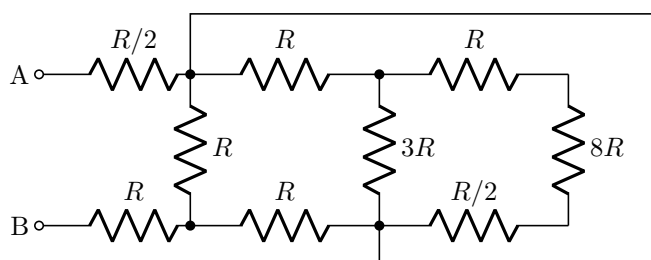
- I resistori orizzontali valgono R ; i rami verticali valgono $39R$, $3R$, $8R$.

$$[R_{eq} = \frac{17}{7}R \approx 2,43R]$$



- Il primo resistore in alto vale $R/2$, gli altri R ; i rami verticali valgono $3R$ e $8R$.

$$[R_{eq} = \frac{21}{13}R \approx 1,62R]$$



Domande di comprensione

1. Come si procede per calcolare la resistenza equivalente di un circuito misto?
2. Perché per riconoscere serie e parallelo bisogna guardare la topologia del circuito, non la posizione nel disegno?

2.8 Esercizi di riepilogo

Esercizi da svolgere.

1. ••○ In un nodo entrano $I_1 = 3\ \text{A}$ e $I_2 = 4\ \text{A}$. Esce $I_3 = 5\ \text{A}$. Calcolare I_4 .
2. ••○ In una maglia: pila $V = 12\ \text{V}$, $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 4\ \Omega$. Calcolare la corrente.

$$[2\ \text{A}]$$

$$[2\ \text{A}]$$

3. ●○○ Partitore di tensione $V_{in} = 9 [V]$, $R_1 = 1 k\Omega$, $R_2 = 2 k\Omega$. Calcolare V_{out} su R_2 . [6 V]
4. ●○○ $R_1 = 100 \Omega$ e $R_2 = 150 \Omega$ in parallelo. Calcolare R_{eq} . [60 Ω]
5. ●○○ Entrano $I_1 = 2 [A]$, $I_2 = 4 [A]$, $I_3 = 1 [A]$. Escono $I_4 = 3 [A]$ e I_5 . Calcolare I_5 . [4 A]
6. ●●○ Due generatori in opposizione $V_1 = 10 [V]$, $V_2 = 4 [V]$, e $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \Omega$ in serie. Calcolare la corrente. [1 A]
7. ●●○ Partitore di corrente $I_{tot} = 9 [A]$, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$. Calcolare I_1 e I_2 . [$I_1 = 6 A$, $I_2 = 3 A$]
8. ●●○ $R_1 = 100 \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = R_3 = 200 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [200 Ω]
9. ●●○ $V_A = 12 [V]$, $V_B = 4 [V]$ rispetto a massa. Calcolare V_{AB} . Se massa in B: V_A e V_B ? [$V_{AB} = 8 V$;
 $V'_A = 8 V$,
 $V'_B = 0 V$]
10. ●●○ Partitore $V_{in} = 24 [V]$, $R_1 = 6 k\Omega$, $R_2 = 3 k\Omega$. Calcolare V_{out} e la corrente. [8 V; $\approx 2,67 mA$]
11. ●●○ Partitore di corrente $I_{tot} = 8 [A]$, $R_1 = R_2 = 4 \Omega$. Calcolare I_1 , I_2 e la tensione. [$I_1 = I_2 = 4 A$;
 $V = 16 V$]
12. ●●○ Pila $V = 6 [V]$, $R_1 = 1 \Omega$, R_2 incognito, $I = 2 [A]$. Calcolare R_2 . [2 Ω]
13. ●●● Entrano $I_1 = 5 [A]$, $I_2 = 3 [A]$. Escono $I_3 = 2 [A]$, I_4 , $I_5 = I_4$. Calcolare I_4 e I_5 . [3 A ciascuna]
14. ●●● Partitore di corrente $I_{tot} = 12 [A]$, $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$. Calcolare I_1, I_2, I_3 . [$\approx 6,55; 3,27; 2,18 A$]
15. ●●● Partitore $V_{in} = 30 [V]$, $R_1 = 1 k\Omega$, $R_2 = 2 k\Omega$, $R_3 = 3 k\Omega$. Calcolare V_i e I . [5 V, 10 V, 15 V; $I = 5 mA$]
16. ●●● $R_1 = 10 \Omega$ in serie con il parallelo $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$; poi in serie con $R_4 = 5 \Omega$. Calcolare R_{eq} . [27 Ω]
17. ●●● $V_1 = 10 [V]$ favorevole, $V_2 = 4 [V]$ contrario, $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$. Calcolare la corrente. [1 A]
18. ●●● Nodo A collegato a massa tramite $R_1 = 2 \Omega$ e a $V = 12 [V]$ tramite $R_2 = 4 \Omega$. Calcolare V_A . [4 V]
19. ●●● Partitore $V_{in} = 18 [V]$, $R_1 = 3 k\Omega$, $R_2 = 6 k\Omega$. V_{out} a vuoto, poi con $R_L = 6 k\Omega$ in parallelo a R_2 . [12 V; 9 V]
20. ●●● In un circuito con tre maglie elementari, spiega perché si scelgono maglie elementari e non maglie non elementari. [garantiscono equazioni indipendenti]

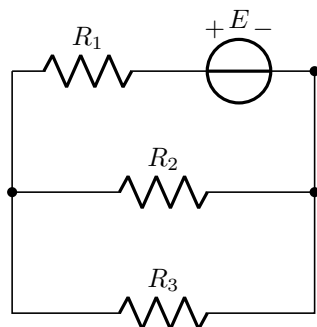
Capitolo 3

Metodi di risoluzione delle reti

3.1 Correnti di maglia

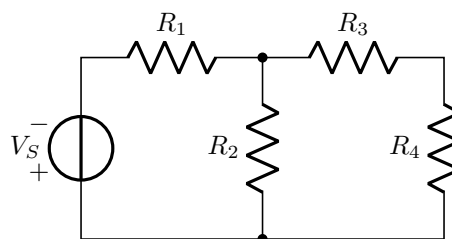
1. ● ○ ○

$R_1 = 20\ \Omega$ $R_2 = 30\ \Omega$ $R_3 = 60\ \Omega$ $E = 60\text{ V}$



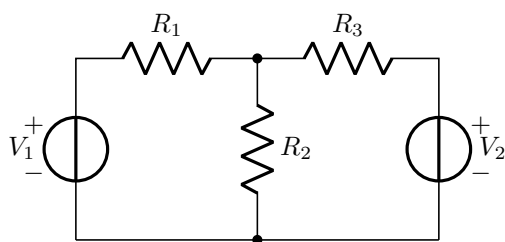
2. ● ○ ○

$R_1 = 390\ \Omega$ $R_2 = 150\ \Omega$ $R_3 = 560\ \Omega$ $R_4 = 180\ \Omega$ $V_S = 6\text{ V}$



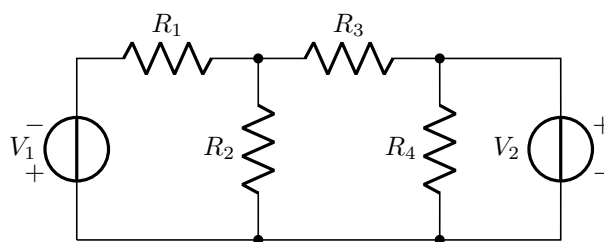
3. ● ● ○

$R_1 = 4\ \Omega$ $R_2 = 2\ \Omega$ $R_3 = 1\ \Omega$ $V_1 = 28\text{ V}$
 $V_2 = 7\text{ V}$



4. ● ○ ○

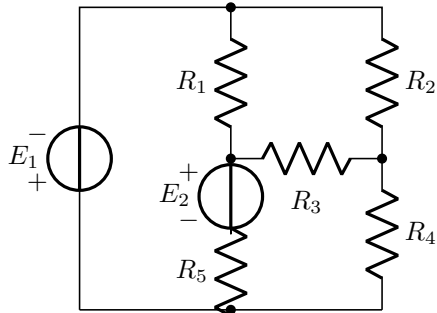
$R_1 = 3.9\text{ k}\Omega$ $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ $R_3 = 2.2\text{ k}\Omega$ $R_4 = 2.7\text{ k}\Omega$ $V_1 = 6\text{ V}$ $V_2 = 7\text{ V}$



5. ●●●

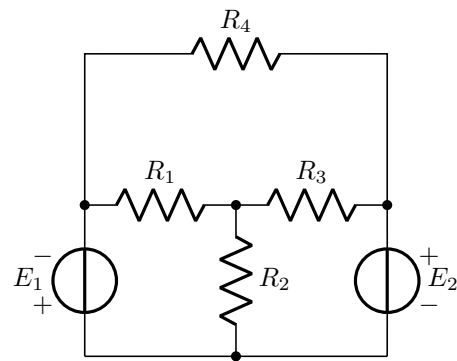
$$R_1 = 1\ \Omega \quad R_2 = 2\ \Omega \quad R_3 = 3\ \Omega \quad R_4 = 1\ \Omega$$

$$R_5 = 2\ \Omega \quad E_1 = 7\ \text{V} \quad E_2 = 6\ \text{V}$$



6. ●○○

$$E_1 = \dots \quad E_2 = \dots$$



3.2 Sovrapposizione degli effetti

1. ●○○

Testo dell'esercizio.

$$\text{Dati: } R_1 = \dots, R_2 = \dots, V_1 = \dots, V_2 = \dots$$

2. ●●○

Testo dell'esercizio.

$$\text{Dati: } R_1 = \dots, R_2 = \dots, R_3 = \dots, V_1 = \dots, I_1 = \dots$$

3. ●●●

Testo dell'esercizio.

$$\text{Dati: } R_1 = \dots, R_2 = \dots, R_3 = \dots, R_4 = \dots, V_1 = \dots, V_2 = \dots, I_1 = \dots$$

3.3 Teorema di Thévenin

1. ●○○

Testo dell'esercizio.

$$\text{Dati: } R_1 = \dots, R_2 = \dots, V_1 = \dots$$

2. ●●○

Testo dell'esercizio.

$$\text{Dati: } R_1 = \dots, R_2 = \dots, R_3 = \dots, V_1 = \dots$$

3. ●●●

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $R_3 = \dots$, $R_4 = \dots$, $V_1 = \dots$, $V_2 = \dots$

3.4 Teorema di Norton

1. ●○○

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $V_1 = \dots$

2. ●●○

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $R_3 = \dots$, $V_1 = \dots$

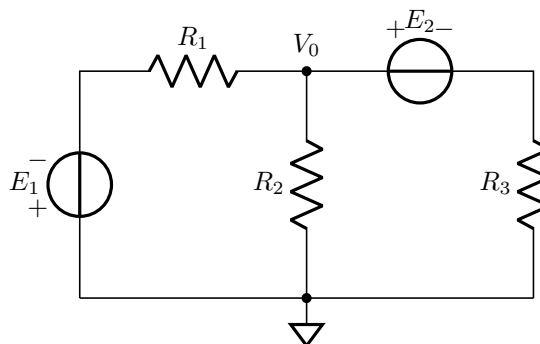
3. ●●●

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $R_3 = \dots$, $R_4 = \dots$, $V_1 = \dots$, $V_2 = \dots$

3.5 Metodo dei potenziali ai nodi

1. ●○○

 $R_1 = 40\ \Omega$ $R_2 = 60\ \Omega$ $R_3 = 20\ \Omega$ $E_1 = 12\ \text{V}$ $E_2 = 10\ \text{V}$


2. ●●○

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $R_3 = \dots$, $R_4 = \dots$, $V_1 = \dots$, $V_2 = \dots$

3. ●●●

Testo dell'esercizio.

Dati: $R_1 = \dots$, $R_2 = \dots$, $R_3 = \dots$, $R_4 = \dots$, $R_5 = \dots$, $V_1 = \dots$, $V_2 = \dots$

3.6 Teorema di Millman

1. ●○○

Determinare la corrente che circola in ogni ramo.

 $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ $R_3 = 250\text{ }\Omega$ $R_4 = 2\text{ k}\Omega$ $R_5 = 2\text{ k}\Omega$ $R_6 = 4\text{ k}\Omega$
 $R_7 = 5\text{ k}\Omega$
 $V_1 = 4\text{ V}$ $V_2 = 3\text{ V}$ $V_3 = 1\text{ V}$ $V_4 = 10\text{ V}$ $V_5 = 12\text{ V}$ $V_6 = 15\text{ V}$
