

Concetti di base

- Carica elettrica:
 - simbolo Q, q
 - Unità di misura Coulomb, C
- Corrente elettrica
 - simbolo I, i
 - unità di misura, Ampère, A: 1 Ampère corrisponde al passaggio di 1 Coulomb al secondo
- Differenza di potenziale elettrico, o Tensione tra due punti:
 - simbolo V, E
 - unità di misura Volt, V: una d.d.p. di 1 Volt tra due punti significa che per portare 1 C da un punto all'altro bisogna fare un lavoro di 1 Joule.
- Coulomb X Volt = Joule (energia)
- Ampère X Volt = Coulomb al secondo X Volt = Joule al secondo = Watt (potenza)

La carica elettrica

- Carica elettrica:
 - simbolo Q, q
 - Unità di misura Coulomb, C
- Tra due cariche elettriche poste ad una distanza d si esercita una forza pari a :
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2}$$
- La costante ϵ_0 è detta permeabilità elettrica del vuoto e vale $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$
- Ad esempio, due cariche di 1 Coulomb poste ad una distanza di 1 m si attraggono con una forza pari a $9 \times 10^9 \text{ N}$: 1 Coulomb è una carica enorme!

La carica elettrica nella materia

- La materia è composta di atomi. Gli atomi sono composti da un nucleo duro, piccolo e massiccio e da una nube di elettroni leggeri che ruota intorno.
- Il nucleo è formato da protoni, particelle cariche, e neutroni, particelle neutre. Protoni e neutroni hanno una massa simile, che vale circa $m_p = 1.6726231 \times 10^{-27}$ Kg.
- Gli elettroni hanno una massa circa 1800 volte più piccola di quella dei protoni, ed hanno carica uguale ed opposta: per convenzione, la carica del nucleo si considera positiva e quella degli elettroni negativa.
- La carica del protone e dell'elettrone sono uguali in valore assoluto a 1.602×10^{-19} Coulomb.

Qualche esempio numerico

- Un grammo di materia è composto da circa $10^{-3} / 1.6726231 \times 10^{-27} = 6 \times 10^{23}$ particelle, tra protoni e neutroni. (il numero di Avogadro).
- Supponendo che solo la metà siano protoni, vuol dire che la carica positiva complessiva dei nuclei è di circa 10^5 Coulomb: una carica uguale ed opposta è posseduta dagli elettroni: se potessimo separare i nuclei dagli elettroni, e porli alla distanza di 1m, questi si attrarrebbero con una forza di 10^{15} N!
- Quando, con metodi meccanici o chimici o elettrici, si riesce a caricare un oggetto, quello che succede è che una piccola parte degli elettroni, più leggera dei nuclei, viene asportata o aggiunta all'oggetto stesso: ad esempio, per caricare un pezzo di metallo con 10^{-6} C (1 μ C) bisogna asportare 6×10^{12} elettroni; per caricarlo con -1 μ C bisogna aggiungerne una uguale quantità.

La corrente elettrica

- In alcuni materiali, detti conduttori, si verifica che gli elettroni sono in grado di spostarsi da un punto all'altro.
- Per fissare le idee pensiamo ad un conduttore filiforme: gli elettroni si muovano da destra verso sinistra. Si forma una corrente elettrica. Se attraverso una sezione del filo passa una carica complessiva di 1 C al secondo, si dice che nel conduttore scorre una corrente di 1 Ampère (simbolo A).
- Visto che la carica complessiva degli elettroni è dell'ordine di qualche centinaia di migliaia di Coulomb, si capisce che anche pochi elettroni che si muovono a bassa velocità riescono a creare correnti dell'ordine di qualche Ampère: valori normali delle correnti, facilmente misurabili, vanno infatti da qualche mA fino a 10 A.
- Gli elettroni sono negativi: questo vuol dire che la corrente da loro prodotti procede in senso inverso al loro spostamento!!!!

Un altro esempio numerico

- Consideriamo un filo di rame avente una sezione di 1 mm^2
- Il rame ha numero atomico 29 e peso atomico 63.5.
- La densità del rame è 8.96 g/cm^3 : questo vuol dire che in un cm^3 di rame si trovano $8.96/63.5 \times 6 \times 10^{23} = 8.5 \times 10^{22}$ atomi
- Supponendo che un solo elettrone per atomo sia in grado di muoversi, la carica mobile totale in un cm^3 di rame è pari a:
 $8.5 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1.4 \times 10^5 \text{ C}$
- Supponendo che nel filo scorra una corrente di 1A, ovvero che solamente 1C di questa carica mobile passi attraverso la sezione del filo, concludiamo che in un secondo un volume di $1/ 1.4 \times 10^5 \text{ cm}^3$ deve avere attraversato la sezione di 1 mm^2 : questo vuol dire che gli elettroni si sono spostati solamente di $7 \text{ }\mu\text{m}$!

Il potenziale elettrico

- Per creare una corrente all'interno di un conduttore, è necessario applicare agli elettroni una forza. Questo risultato viene ottenuto applicando un campo elettrico all'interno del conduttore stesso.

$$\vec{F} = -e\vec{E}$$

- Supponendo un conduttore di lunghezza l , il lavoro compiuto per portare un elettrone da un'estremità all'altra del filo, ipotizzando per semplicità un campo elettrico uniforme, è: $W = -eEl$
- Il lavoro per unità di carica compiuto dal campo elettrico si chiama differenza di potenziale elettrico tra le estremità del filo, si indica con la lettera V e si misura in Volt. Nel nostro esempio, $V = El$
- Quello che solitamente si riesce a maneggiare in laboratorio non è il campo elettrico, bensì la differenza di potenziale!

Dimensioni ed unità di misura

- Abbiamo visto che la carica si misura in Coulomb, e la corrente in Coulomb al secondo.
- Il prodotto di una carica per una d.d.p. ha le dimensioni di una energia. Quindi 1 Coulomb per 1 Volt corrisponde ad 1 Joule.
- Il prodotto di una corrente per una d.d.p. ha le dimensioni di una potenza. Quindi 1 V per 1 A corrisponde a 1 Watt.
- Il campo elettrico invece non ha una unità di misura propria: di solito si utilizza il Volt/metro.

Equivalente idrodinamico....

Per intuire il funzionamento di un circuito elettrico, è conveniente fin d'ora avere in mente qualche parallelo con i concetti analoghi dell'idrodinamica.

- Carica -> massa d'acqua
- Corrente -> massa d'acqua che scorre in un tubo in una unità di tempo
- Differenza di potenziale -> altezza dell'acqua rispetto al suolo , o meglio energia potenziale di 1 Kg di acqua.
- Conduttore -> Tubo
- Ponendo due recipienti d'acqua ad altezza diversa e collegandoli da un tubo si ha un flusso d'acqua da uno all'altro: analogamente, applicando una differenza di potenziale ad un conduttore, si ha un flusso di carica, ovvero una corrente.

Tabella prefissi comunemente utilizzati

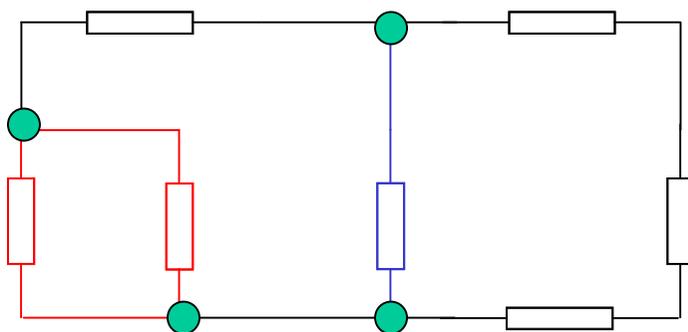
Multipli			Sottomultipli		
peta	P	10^{15}	deci	d	10^{-1}
tera	T	10^{12}	centi	c	10^{-2}
giga	G	10^9	milli	m	10^{-3}
mega	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
kilo	k	10^3	nano	n	10^{-9}
etto	h	10^2	pico	p	10^{-12}
deca	da	10^1	femto	f	10^{-15}
			atto	a	10^{-18}

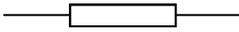
Circuiti

- Un circuiti elettrico è un insieme di elementi collegati tra di loro mediante fili di rame.
- Se tra alcuni punti del circuito viene creata una differenza di potenziale, allora in ciascuno degli elementi scorre una corrente.
- Risolvere un circuito significa riuscire a calcolare la differenza di potenziale tra due punti qualsiasi del circuito, e la corrente che attraversa ciascuno degli elementi.

Nodi, rami, maglie

- In un circuito è possibile individuare degli elementi indicati come nodi, rami e maglie.
 - Un nodo è un punto in cui confluiscono tre o più conduttori.
 - Un ramo è una successione di elementi che congiunge due nodi adiacenti.
 - Una maglia è una successione di rami chiusa, nel senso che partendo da un nodo, e percorrendo via via i vari rami che formano la maglia, è possibile tornare al punto di partenza.



Elemento	
Nodo	
Ramo	
Maglia	

Esempi

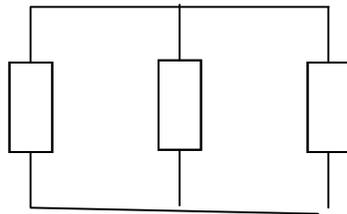


2 elementi

0 nodi

1 ramo

1 maglia

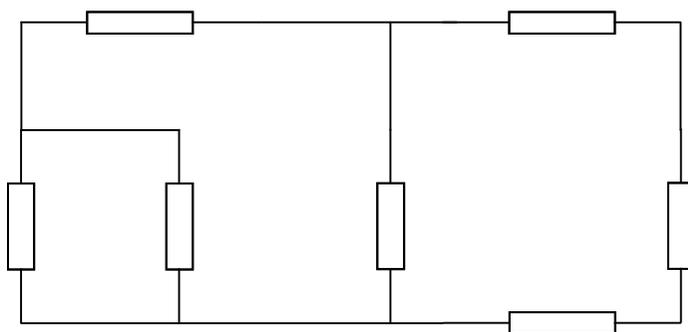


3 elementi

2 nodi (1 indipendente)

3 rami

3 maglie, (2 indipendenti)



7 elementi

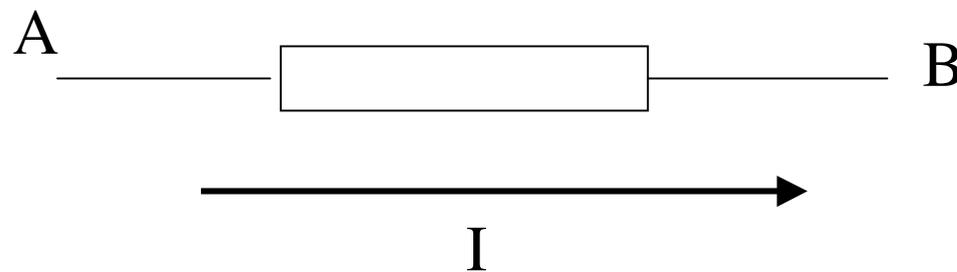
4 nodi (3 indipendenti)

6 rami

6 maglie (3 indipendenti)

Elemento di un circuito

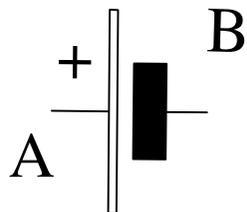
- Per il momento, ci limiteremo a considerare elementi circuitali a due terminali:



- Definisco la differenza di potenziale ai suoi capi (o anche la caduta di potenziale) la differenza $V=V_A-V_B$.
- Definisco positiva la corrente che scorre da A a B, negativa quella da B ad A

Caratteristica tensione corrente

- Un elemento circuitale a due componenti è definito dalla relazione tra la corrente che vi scorre e la d.d.p. ai suoi capi:
 - $$V=f(I)$$
 - Vedremo che nei casi più comuni la funzione f ha un comportamento lineare
 - Due esempi banali:
 - il filo elettrico: il filo ideale ha una d.d.p. nulla ai suoi capi, e dentro può scorrere qualsiasi valore di corrente
-
- Il generatore di d.d.p. ideale (pila, batteria, alimentatore, etc.): la d.d.p. ai suoi capi è fissa, indipendentemente dalla corrente che fornisce:



$$V=V_A-V_B>0, I \text{ qualunque}$$

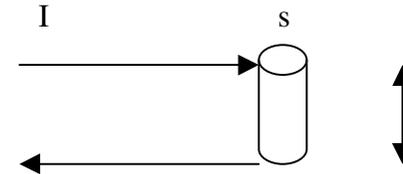
La legge di Ohm

- Se a due superfici che delimitano un conduttore metallico viene applicata una differenza di potenziale costante, allora attraverso questo scorre una corrente.
- Si verifica sperimentalmente come il rapporto tra corrente e differenza di potenziale applicata rimane costante in un grande intervallo di valori. Il rapporto dipende dal materiale di cui è fatto il conduttore, dalla sua forma e temperatura, ed anche dalle superfici cui viene applicata la differenza di potenziale.
- Si definisce quindi come **resistenza** del conduttore la quantità $R=V/I$.
- La resistenza, nel sistema MKSA, si misura in Ohm, simbolo Ω : $1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$, pertanto la resistività ρ si misurerà in Ω/m . Multipli comuni dell' Ω sono il chilo-Ohm ($\text{k}\Omega$) pari a 1000Ω e il mega-Ohm, ($\text{M}\Omega$) pari a $1.000.000 \Omega$.
- I conduttori che obbediscono alla legge di Ohm sono detti ohmici.

Un caso semplice....

- Supponiamo di applicare una differenza di potenziale tra le basi di un conduttore metallico a forma di parallelepipedo.
- Si trova che esiste una relazione semplice tra la differenza di potenziale applicata e la corrente che scorre nel conduttore:

$$V = \rho \frac{l}{S} I$$



dove l è l'altezza del parallelepipedo, S l'area di base e ρ una costante, detta resistività, propria del materiale.

- La resistenza del parallelepipedo sarà allora: $R = \rho l / S$
- Intuitivamente:
 - tanto più è lungo il conduttore, tanto maggiore è la sua resistenza
 - tanto più è stretto un conduttore, tanto maggiore è la sua resistenza

La resistività

- La resistività è una caratteristica tipica dei materiali ohmici.
- Si misura in Ωm .
- Esempio: la resistività del rame è $\rho=1.678 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$. La resistenza di un cavo di rame di lunghezza 1m e diametro 2 mm risulterà quindi uguale a :

$$R=1.678 \cdot 10^{-8} \cdot 1 /(\pi \cdot 10^{-6})= 0.53 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

- La resistività dipende dalla temperatura. In generale, tranne che in alcuni dispositivi costruiti appositamente, la resistenza aumenta con la temperatura. Per piccole variazioni di temperatura, si considera una dipendenza lineare: $\rho=\rho_0 (1+\alpha T)$, dove ρ_0 è la resistenza a 0 gradi centigradi, e T la temperatura misurata in gradi centigradi. Per il rame, $\alpha=0.0039$.

Il resistore

- Il resistore, o resistenza, è un elemento di circuito che obbedisce alla legge di Ohm. La caratteristica è quindi:

$$V=R I.$$



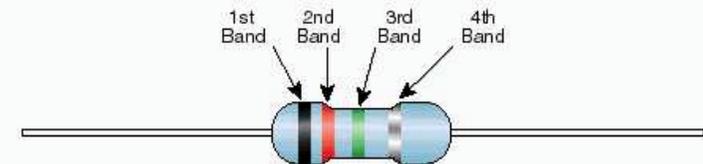
- Nei circuiti, il resistore viene indicato tramite una linea a zig zag.
- Nell'attraversare un resistore nella direzione della corrente, il potenziale subisce una caduta di una quantità pari a $V=R*I$
- I resistori vengono prodotti industrialmente con valori diversi. Una resistenza di 1Ω è tipicamente una resistenza molto piccola. I valori di resistenza tipicamente adoperati vanno da qualche centinaio fino ad un milione di Ω .

Resistori commerciali

- I resistori commerciali sono realizzati in carbone o tungsteno, e appaiono come cilindretti su cui sono disegnate 3, 4 o 5 strisce colorate. Il valore nominale della resistenza si ottiene in base al colore delle strisce.
- Tipicamente, la differenza tra resistenza nominale e resistenza reale di un resistore (detta tolleranza) può essere del 5, 10 o 20% ed è anch'essa specificata tramite il codice dei colori.

Primo e secondo anello: cifre decimali
 Terzo anello: moltiplicatore
 Quarto anello: tolleranza

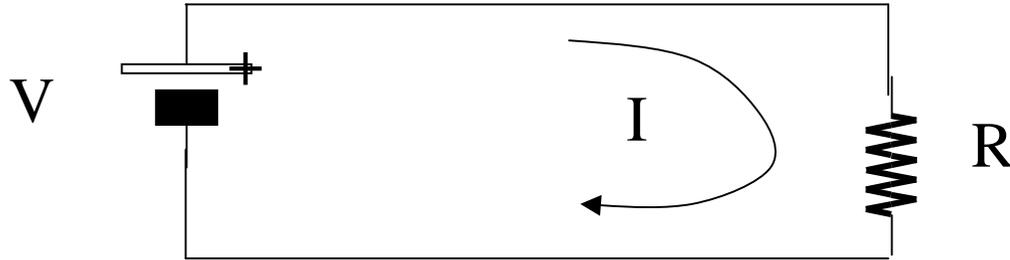
Standard EIA Color Code Table 4 Band: ±2%, ±5%, and ±10%



Color	1st Band (1st figure)	2nd Band (2nd figure)	3rd Band (multiplier)	4th Band (tolerance)
Black	0	0	10 ⁰	
Brown	1	1	10 ¹	
Red	2	2	10 ²	±2%
Orange	3	3	10 ³	
Yellow	4	4	10 ⁴	
Green	5	5	10 ⁵	
Blue	6	6	10 ⁶	
Violet	7	7	10 ⁷	
Gray	8	8	10 ⁸	
White	9	9	10 ⁹	
Gold			10 ⁻¹	±5%
Silver			10 ⁻²	±10%

Lavoro ed energia

- Si consideri il semplice circuito in figura:



- In base alla legge di Ohm la corrente I vale V/R .
- Nel portare una quantità di carica Δq dal polo positivo al polo negativo, il generatore compie sulla carica un lavoro $V \cdot \Delta q$. Quindi il lavoro effettuato per unità di tempo sarà $W = V \cdot \Delta q / \Delta t = V \cdot I$.
- Dove finisce l'energia fornita dal generatore?

L'effetto Joule

- Si osserva che una resistenza percorsa da corrente scalda: questo effetto è detto effetto Joule. L'energia fornita dal generatore viene dissipata sotto forma calore. La potenza dissipata sulla resistenza è data da:

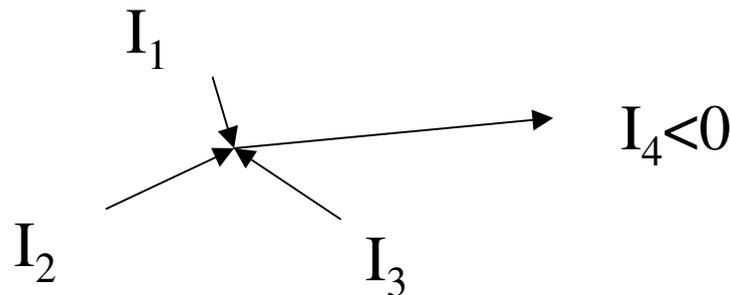
$$W = VI = RI \cdot I = RI^2 = V^2 / R$$

- I resistori commerciali più comuni sono in grado di dissipare 1/8, 1/4 oppure 1/2 watt: se si superano questi valori, il resistore scalda eccessivamente e brucia.
- Esempio: qual è la corrente che scorre in una lampadina da 100 W, collegata alla rete elettrica (220 Volts) ? Visto che $220 \cdot I = 100$, si ha: $I = 100/220 \text{ A} = 0.5 \text{ A}$. La resistenza della lampadina varrà quindi $R = V/I = 220/(100/220) = 484 \ \Omega$.

Prima legge di Kirchhoff

- Si considerino tutte le correnti che giungono in un nodo, stabilendo per esse un verso arbitrario: si considerino positive le correnti che arrivano al nodo, e negative quelle che ne escono.
- La conservazione della carica impone che:
 - La somma algebrica delle correnti che affluiscono ad un nodo è uguale a zero. Ovvero, la somma delle correnti entranti è uguale alla somma delle correnti uscenti (legge di Kirchhoff ai nodi).
- Per N nodi, si hanno solamente N-1 equazioni indipendenti.

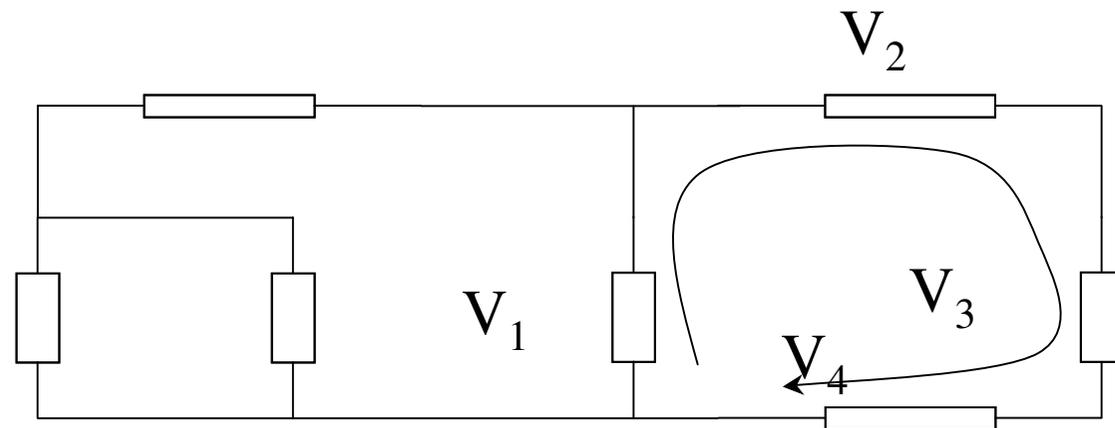
$$\sum_k I_k = 0$$



Seconda legge di Kirchhoff

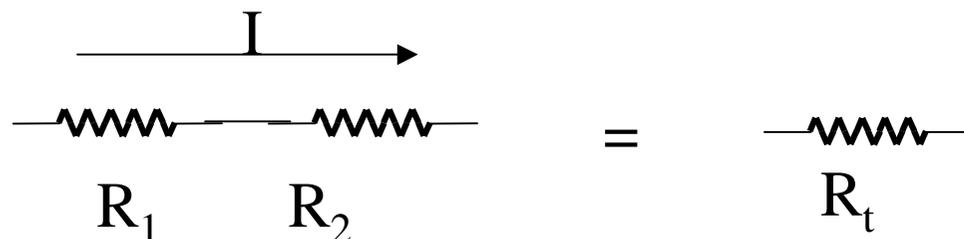
- Si immagina di percorrere una maglia in un verso arbitrario. Ogni volta che si attraversa un elemento, si ha una caduta di potenziale.
- Alla fine, si torna allo stesso potenziale di partenza. Quindi:
 - La somma delle cadute di tensione incontrate percorrendo una maglia fino a tornare al punto di partenza è uguale a zero.
 - Se le maglie sono scelte in modo che ognuna abbia almeno un ramo non in comune con gli altri, questo fornisce le rimanenti equazioni necessarie per risolvere il circuito.

$$\sum_k V_k = 0$$



Resistenze in serie

- Due resistenze sono connesse in **serie** quando hanno un terminale collegato.



- La corrente che scorre nelle due resistenze è la stessa: I
- La d.d.p. ai capi della resistenza totale è uguale alla somma delle d.d.p. ai capi delle singole resistenze:

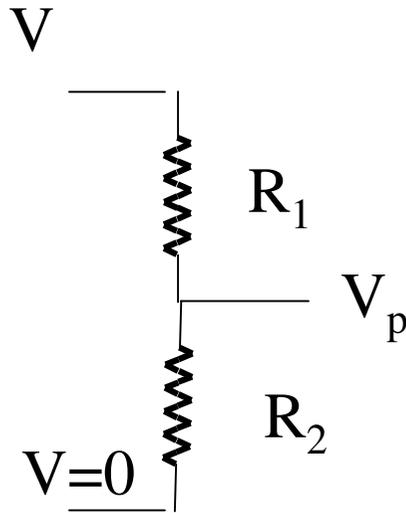
$$V = V_1 + V_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I = R_e I$$

- La resistenza equivalentenè pari alla somma delle due resistenze:.

$$R_t = R_1 + R_2$$

Partitore di tensione

- Un **partitore** è formato da due resistenze come in figura:



La corrente che scorre è

$$I = V / (R_1 + R_2)$$

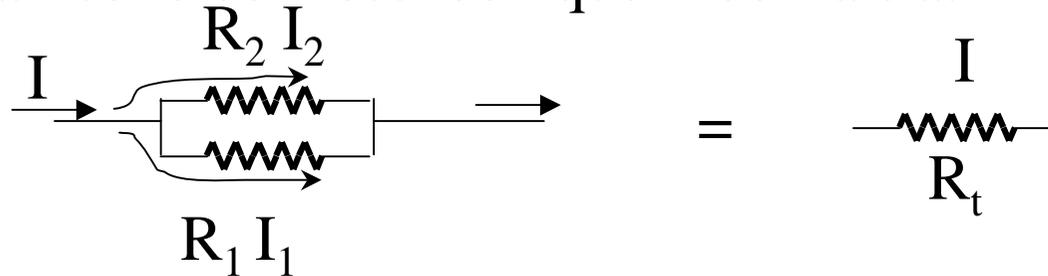
La differenza di potenziale ai capi della resistenza R₂ è:

$$V_p = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

- Il **partitore** dunque fornisce ai capi della resistenza R₂ una frazione della tensione V, il cui valore dipende solamente dai valori relativi di R₁ ed R₂.

Resistenze in parallelo

- Due resistenze sono collegate in parallelo quando entrambi i terminali sono connessi con quelli dell'altra.



- La d.d.p. ai capi delle due resistenze è la stessa
- La corrente totale è uguale alla somma delle correnti:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V = \frac{V}{R_e}$$

- Quindi la resistenza equivalente si ottiene con la somma degli inversi:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Resistenze in parallelo II

- La resistenza equivalente è sempre minore di ciascuna delle due resistenze.
 - In particolare, è più piccola della più piccola delle due.
 - Porre una resistenza in parallelo ad un'altra resistenza ne diminuisce sempre il valore
 - Ponendo due resistenze uguali in parallelo, equivale a dimezzarne il valore.
- Si possono calcolare le correnti che scorrono in ciascuna resistenza:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

- si dice che il circuito funziona da *partitore di corrente*.
- Ponendo più resistenze in parallelo, la resistenza equivalente si ottiene sommando gli inversi:

$$\frac{1}{R_e} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Misure di tensione e di corrente

- Lo strumento utilizzato per le misure di corrente è detto comunemente amperometro, quello utilizzato per le misure di tensione voltmetro. Uno strumento che può venire adoperato come misuratore di corrente o di tensione è detto multimetro, o tester.
- Per effettuare misure di corrente, il circuito va interrotto e lo strumento va inserito in corrispondenza dell'interruzione.
- Il voltmetro va invece connesso ai due punti tra di quali si desidera misurare la d.d.p.

