

Laboratorio di Elettromagnetismo

S. Masi / A. Coppolecchia (canale F-O)

email: silvia.masi@roma1.infn.it

alessandro.coppolecchia@roma1.infn.it

- Scopo del corso:
 - Imparare come si fanno misure di tipo elettrico,
 - Come funzionano gli strumenti e come si connettono tra di loro
- Importanza del corso
 - La maggior parte dei sensori di osservabili fisiche sono trasduttori, che convertono l' osservabile fisica in una quantità elettrica (carica, corrente, tensione ...)
 - Meglio si misurano le quantità elettriche, meglio si misura l' osservabile fisica che ci interessa.

Laboratorio di Elettromagnetismo

S. Masi / A. Coppolecchia

– Pagina web:

<http://oberon.roma1.infn.it/lezioni/laboratorioelettromagnetismo/index.html>

Silvia Masi : stanza 148

Orario ricevimento, vedi pagina web

Calendario esercitazioni ed esami, vedi pagina web

Concordato con altri due canali:

di norma il lunedì' non c'è lezione e viene utilizzato per recupero lezioni mancate, per cause di forza maggiore, e per esercizi di preparazione per esonero e prova pratica, nella parte finale del corso, come verrà segnalato sulla pagina web con almeno una settimana di preavviso.

Potete contattare sia me che Alessandro via email, se non risponde uno dei due entro un giorno o due, chiamatemi all'interno 271 (o venite direttamente in stanza 148 o in laboratorio G31)

Corso di laboratorio di elettromagnetismo

- Il corso e' basato su
 - Lezioni in Aula : il mercoledì' 11-13 in aula Careri
 - Esperienze di Laboratorio: il mercoledì' pomeriggio 14:30-18:30 lab. Via Tiburtina
- Nelle lezioni in aula si daranno tutte le informazioni (complementari a quanto state studiando in elettromagnetismo) necessarie a
 - Capire come funzionano gli strumenti di misura
 - Capire come si fanno (ed ottimizzano) le misure
- Quanto spiegato in aula verrà poi applicato in laboratorio

Corso di laboratorio di elettromagnetismo

7 Esperienze di Laboratorio presso i laboratori di Via Tiburtina:

Il mercoledì' pomeriggio, calendario provvisorio (a partire dalla terza/quarta lezione). Vedi pagina web

Prima di entrare in laboratorio vi saranno illustrate le modalita' di uso del laboratorio stesso e le norme di sicurezza alle quali attenersi nell'utilizzo del laboratorio. Dovrete firmare un foglio per confermare il fatto che siete stati informati sulle norme suddette.

- **Misure in Corrente Continua**
- **Oscilloscopio, generatore di segnali e RC/CR**
- **RCL - 1**
- **RCL - 2**
- **Diodo (semplici circuiti che usano diodi)**
- **Linea di ritardo (linea di trasmissione)**
- **Esonero 1 (13/4/2016)**
- **Esonero 2 (8/6/2016)**
- **Prova pratica**
- **Prova orale**
- **Calendario esami vedi pagina web**

Quaderni di laboratorio

Saranno di gruppo e devono essere controllabili periodicamente.

Come impostazione, i quaderni saranno più dei "logbook" che delle vere relazioni, anche se conterranno, oltre ai dati, delle rapide elaborazioni sui dati stessi.

Relazione

La relazione è individuale su un tema, riguardante una o più esercitazioni, assegnato dal docente, ed è basata sui dati raccolti durante le esercitazioni e registrati nel logbook. Dovrà essere portata all'orale, insieme al quaderno, e sarà valutata ai fini dell'esame.

Assenze

Le esercitazioni hanno carattere di lavoro di gruppo. È ammessa una sola assenza, che va comunque recuperata tempestivamente.

Eventuali eccezioni, opportunamente giustificate, saranno trattate individualmente.

Gruppi di laboratorio: Saranno composti da due o tre persone al massimo e saranno formati prima della prima esercitazione, per consentire la compilazione dei registri per le presenze. Si raccomanda la puntualità perché il tempo a noi concesso in laboratorio è dalle 14:30 alle 18:30

Lista studenti corso 2016: Durante la prima lezione vi sarà dato un foglio sul quale dovrete scrivere in stampatello Cognome, Nome e recapito email (scrivete a stampatello, in maniera leggibile!) Spedire una e-mail di verifica a tutta la mailing list che stilerò in base ai vostri nomi/recapiti, le comunicazioni via email con me e con A. Coppolecchia dovranno sempre riportare come oggetto la dicitura: lab. em. e circuiti, entrambi riceviamo un centinaio di messaggi al giorno in media, oltre ai vostri, quindi è bene che i vostri siano individuabili immediatamente per permetterci di rispondere tempestivamente.

Laboratorio Libero Per recuperare l'assenza e per esercitarsi è possibile utilizzare il giovedì dalle 14:30 alle 18:30 con i tecnici dei laboratori: Fabio Basti e Laura Di Benedetto (06 49913938). (email: nome.cognome@uniroma1.it). Come lo scorso anno concorderemo alcuni giorni aggiuntivi per i recuperi se possibile

Circuiti elettrici

- Un circuito elettrico e' un insieme di elementi collegati tra loro allo scopo di trasferire energia elettrica.
- L' energia elettrica puo' essere immagazzinata sotto forma di campo elettrico o campo magnetico; puo' derivare da energia chimica o meccanica o radiativa e puo' produrre calore o movimento. Per questo e' importante saperla trasferire ed utilizzare al meglio.

Circuiti elettrici

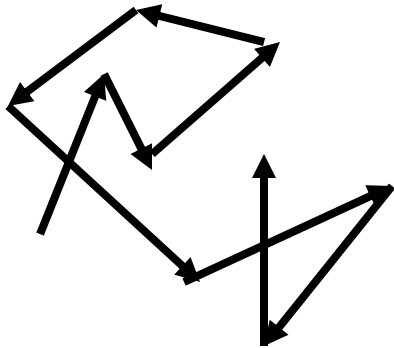
- Un circuito elettrico e' un insieme di **elementi** collegati tra loro allo scopo di trasferire energia elettrica.
- Gli elementi fondamentali ideali di un circuito elettrico possono essere
 - **Attivi** : quando forniscono energia agli altri elementi, ad esempio generatori di tensione elettrica, generatori di corrente, batterie etc.
 - **Passivi**: quando dissipano o immagazzinano energia: resistori, condensatori, induttori

Correnti elettriche

- Una corrente elettrica e' un movimento di cariche elettriche.
- Noi avremo a che fare col movimento di elettroni in conduttori e semiconduttori
- $e^- : (1.60217653 \pm 0.000000014) \times 10^{-19}$ Coulomb
- Per noi: 1.6×10^{-19} Coulomb

Correnti elettriche

- Moto di un elettrone in un metallo:
- Agitazione termica

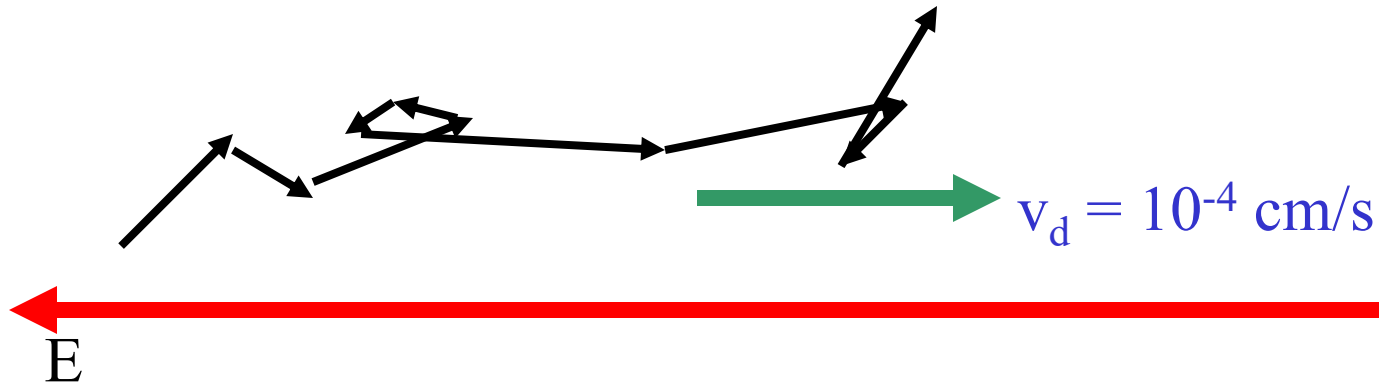


L' elettrone urta continuamente contro gli atomi del reticolo cristallino, e viene deviato in una direzione qualsiasi.

il moto medio e' casuale (browniano)

$$\langle v^2 \rangle^{1/2} = 10^6 \text{ cm/s}$$

- Agitazione termica in presenza di un campo elettrico: si instaura una lenta velocita' di deriva



La legge di Ohm

- Sia τ il tempo medio tra due urti e v_d la velocità di deriva: il libero cammino medio sarà $L = \tau v_d$.
- Il moto tra due urti è dovuto alla forza del campo elettrico $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$, e sarà quindi uniformemente accelerato con $\mathbf{a} = -e\mathbf{E}/m$.
- La velocità media sarà $v_d = a\tau = -(eE/m)\tau$.
- Si definisce la **Densità di corrente $\mathbf{J}$** come la Quantità di corrente per unità di tempo attraverso l'unità di superficie (per una sezione trasversale).

La legge di Ohm

- Se N e' il numero dei portatori di carica per m^3 , ognuno di essi di carica q , che si muovono nel conduttore con velocita' v_d , la carica che fluisce nell' unita' di tempo attraverso una sezione A del conduttore e':

$$I = \int_A Nq\vec{v}_d \cdot \vec{n} dA$$

- si chiama allora densita' di corrente il vettore:

$$\vec{J} = Nq\vec{v}_d$$

- Questo e' un vettore che ha la stessa direzione e lo stesso verso della velocita' di deriva dei portatori di carica che a sua volta ha direzione uguale e concorde al campo elettrico se la carica q e' positiva e discorde se la carica q e' negativa. In ogni caso J e' parallelo e concorde ad E e si misura in A/m^2

Legge di Ohm

- La densita' di corrente sara' quindi $\mathbf{J} = -eN\mathbf{v}_d$ e quindi $\mathbf{J} = (e^2\tau N/m)\mathbf{E}$ ovvero $\mathbf{J} = \underline{\sigma}\mathbf{E}$ dove con σ si e' indicata la conducibilita' elettrica, che e' una caratteristica del metallo (e puo' dipendere dalla temperatura, dall' intensita' del campo $\mathbf{E}$ e dalla direzione).
- In generale $\mathbf{J} = \underline{\sigma}(\mathbf{E}) \mathbf{E}$ con $\underline{\sigma}$ tensore del 2° ordine.

Legge di Ohm

- Nel caso di un filo metallico omogeneo, isotropo, di sezione costante, e lineare, σ e' costante ed indipendente da E e dalla direzione.
- Il suo inverso e' detto resistivita': $\rho=1/\sigma$.
- Sia l la lunghezza del conduttore e S la sezione. Applichiamo una differenza di potenziale ΔV ai capi del conduttore.

Legge di Ohm

$$\Delta V = \int_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = El$$

$$I = \int_s \vec{J} \cdot \vec{n} da = JS$$

ma $J = \sigma E$ e quindi $\frac{I}{S} = \sigma \frac{\Delta V}{l}$

e quindi $I = \frac{\sigma S}{l} \Delta V$

definendo la resistenza $R = \frac{l}{\sigma S}$

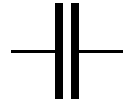
si trova la legge di Ohm $\Delta V = RI$



Correnti elettriche

- Vedremo che grazie alle correnti elettriche si possono trasferire energia ed informazioni all'interno di circuiti elettrici.
- Ci interessano quindi le relazioni tra differenza di potenziale e corrente per i diversi elementi di un circuito elettrico.
- Lo studio dei circuiti elettrici consiste nel saper calcolare e misurare le correnti e le tensioni in qualunque punto di un circuito comunque complicato.

- Per gli elementi passivi valgono le seguenti relazioni, note dallo studio dell' elettromagnetismo:



$$V = RI ;$$

Legge di Ohm

$$I = V / R ;$$

$$V = \frac{1}{C} \int_0^t Idt ;$$

Def. di $C=Q/V$

$$I = C \frac{dV}{dt} ;$$

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

Legge di Lenz

$$I = \frac{1}{L} \int_0^t Vdt$$

- Dove:
 - V = differenza di potenziale ai capi dell' elemento considerato,
 - I = intensita' di corrente che attraversa l' elemento stesso,
 - R =resistenza,
 - C =capacita',
 - L =coefficiente di autoinduzione (o induttanza), t = tempo

Elementi reali di un circuito elettrico (passivi)

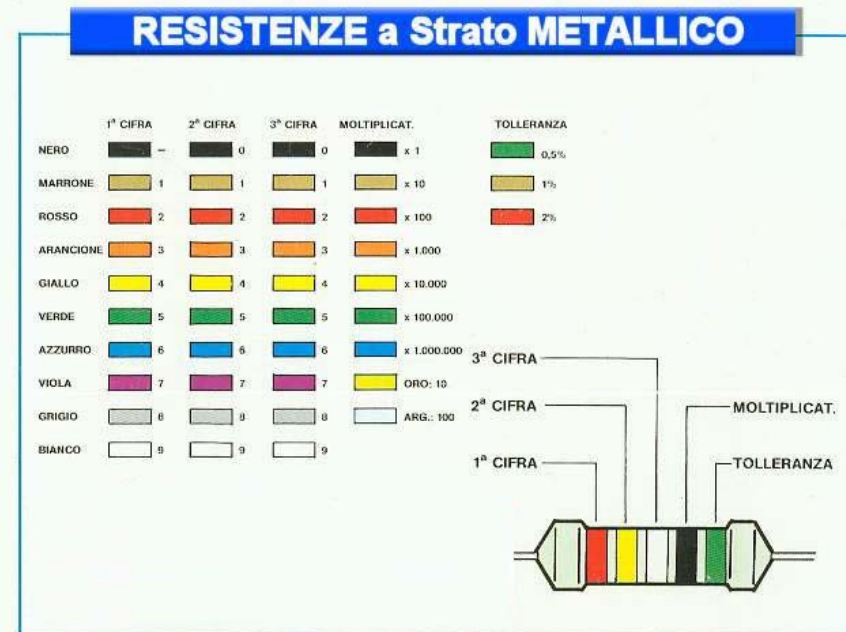
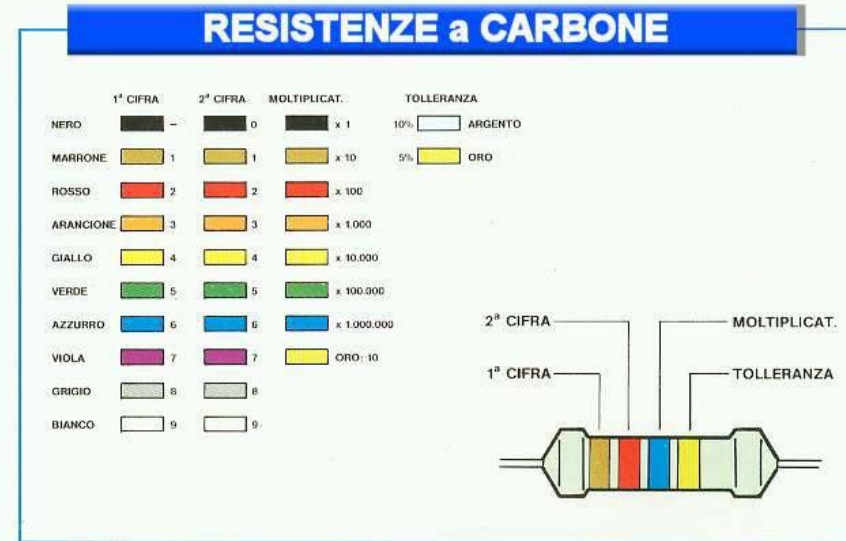
- *Resistori*
 - A filo metallico
 - A impasto
 - A film metallico
- *Condensatori*
 - A mica
 - A poliestere
 - A ceramica
 - Elettrolitici
- *Resistori variabili*
(trimmer e potenziometri)
- *Condensatori variabili*
- *Induttori* (con o senza nucleo in ferrite)

Resistori

- Sono disponibili in
 - valori da 0.01Ω a $10^{12}\Omega$
 - potenze dissipabili da $1/8W$ a $250W$
 - Precisione da 0.005% a 20%
- I piu' economici sono fatti da un **impasto di carbone**: viene garantita una tolleranza del 5% intorno al valore nominale, ma: (res. Allen Bradley serie AB tipo CB):
 - Saldando puo' cambiare il valore del 2% (permanente)
 - Vibrazioni ($20g$) e shock ($100g$) $\rightarrow 2\%$ (permanente)
 - Umidita' (95% a 40°) cambia il valore dal 6% al 10% (non permanente)
 - $10V$ di ddp applicata cambiano il valore da -0.15% a -0.3%
 - Variando T da $25^\circ C$ a $-15^\circ C$ R varia del $2.5\%-4.5\%$
 - Variando T da $25^\circ C$ a $+85^\circ C$ R varia del $3.3\%-5.9\%$

Resistori

- Altri difetti dei resistori a impasto sono l'induttanza (che può essere importante ad alte frequenze) e il loro rumore a basse frequenze.
- Se serve maggiore precisione si usano resistori ottenuti evaporando un sottile film metallico su un supporto isolante. (resistori a strato metallico): garantiscono tolleranze dell' 1% e stabilità migliori dello 0.1%.

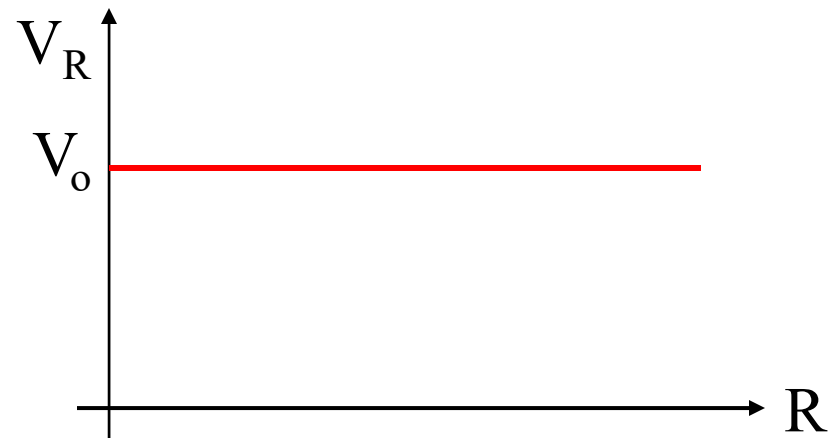
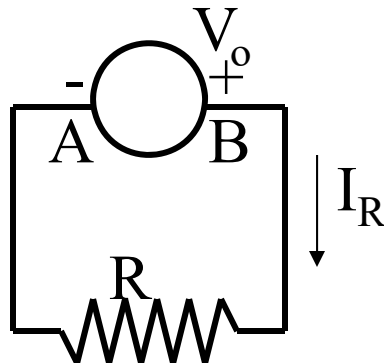


Condensatori

Tecnologia:	Capacita'	Accuratezza	Perdite	$\Delta C/\Delta T$	
Mica	1pF - 0.01 μ F	Buona	Buona	Buona	
Ceramici	10pF - 1 μ F	Scarsa	Moderata	Moderata	
Mylar	1nF - 50 μ F	Buona	Buona	Buona	
Policarbonato	100pF - 30 μ F	Eccellente	Eccellente	Eccellente	
Teflon	1nF - 2 μ F	Eccellente	Migliore	Migliore	
Vetro	10pF - 1nF	Buona	Eccellente	Eccellente	
Tantalio	0.1 μ F - 500 μ F	Scarsa	-	-	*
Elettrolitici	0.1 μ F - 1F	Terribile	Terribile	Terribile	*

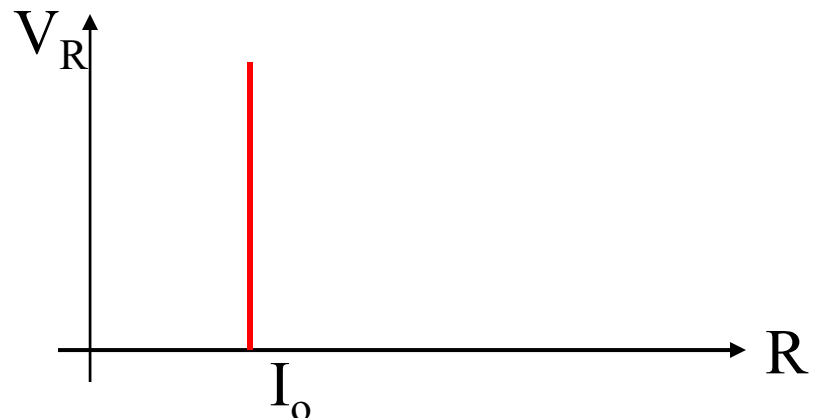
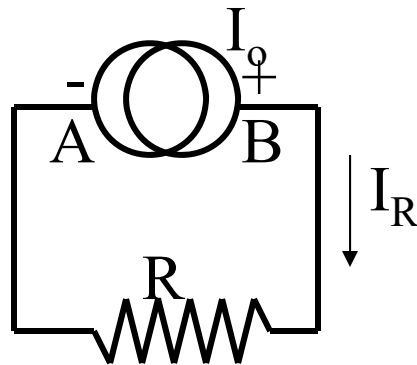
Generatore ideale di tensione

- E' una sorgente di energia capace di mantenere una differenza di potenziale costante tra due punti A e B, indipendentemente da cio' che viene connesso tra quei due punti.
- Se si connette un circuito elettrico tra quei due punti, il generatore fara' scorrere corrente nel circuito in modo che ΔV_{AB} rimanga costante, indipendentemente dai componenti del circuito e dalle loro variazioni.
- Esempio:



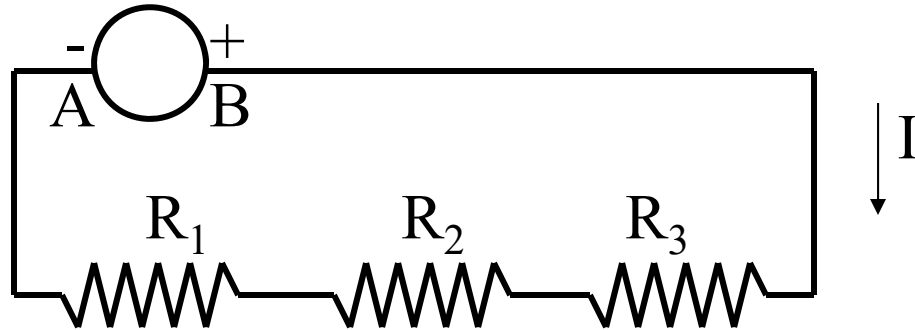
Generatore ideale di corrente

- E' una sorgente di energia capace di erogare una corrente di intensita' I_0 costante, iniettandola in un punto A e ricevendone altrettanta in un punto B, indipendentemente da cio' che viene connesso tra A e B.
- Se si connette un circuito elettrico, il generatore variera' la tensione ΔV_{AB} in modo che I rimanga costante, indipendentemente dai componenti del circuito e dalle loro variazioni.
- Esempio:



Semplici circuiti elettrici

- Circuito con resistenze in serie



$$V_1 = R_1 I; \quad V_2 = R_2 I; \quad V_3 = R_3 I; \quad \text{ma}$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = V; \quad \text{quindi}$$

$$R_1 I + R_2 I + R_3 I = V \quad \text{da cui}$$

$$V = RI \quad \text{con} \quad R = R_1 + R_2 + R_3; \quad R = \sum_i R_i$$

Semplici circuiti elettrici

- Circuito con resistenze in parallelo

$$I_1 = V_1 / R_1; \quad I_2 = V_2 / R_2; \quad I_3 = V_3 / R_3;$$

$$\text{ma} \quad V_1 = V_2 = V_3 = V;$$

$$I \text{ inoltre} \quad I_1 + I_2 + I_3 = I \text{ da cui}$$

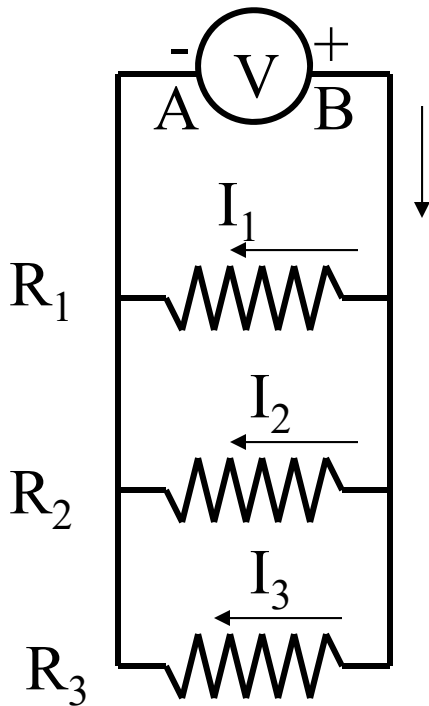
$$I = V / R_1 + V / R_2 + V / R_3 =$$

$$= V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad \text{da cui}$$

$$V = RI \quad \text{con}$$

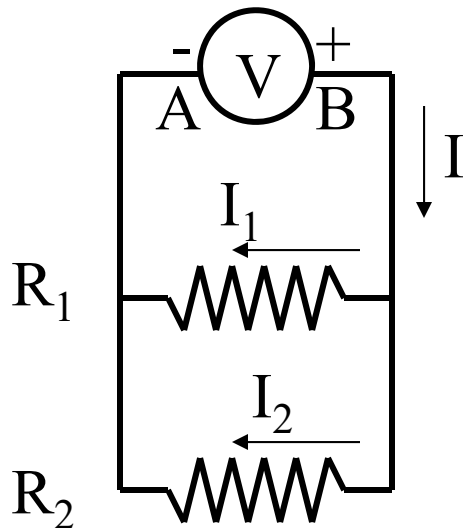
$$\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) :$$

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



Semplici circuiti elettrici

- Parallelo di due resistenze



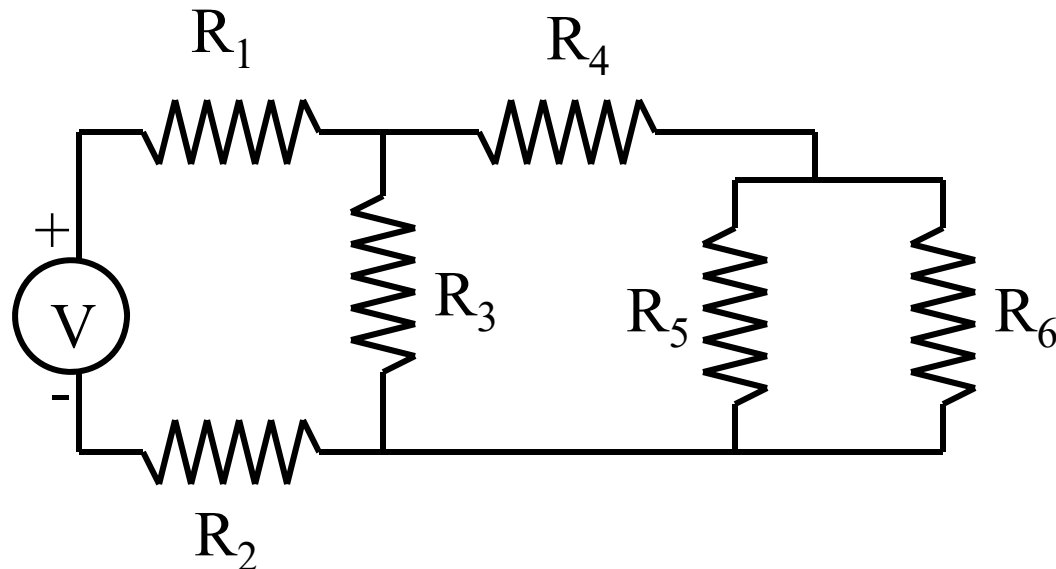
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

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

- Il denominatore e' sempre >1 , quindi R e' sempre inferiore alla piu' piccola delle resistenze componenti il circuito.

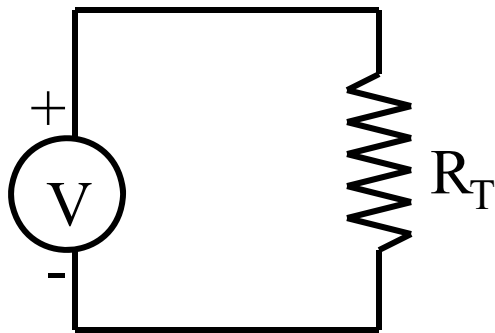
Rete

- Una connessione di circuiti serie e parallelo si chiama rete. Applicando ripetutamente le formule di serie e parallelo si può ricavare la resistenza equivalente.



Rete

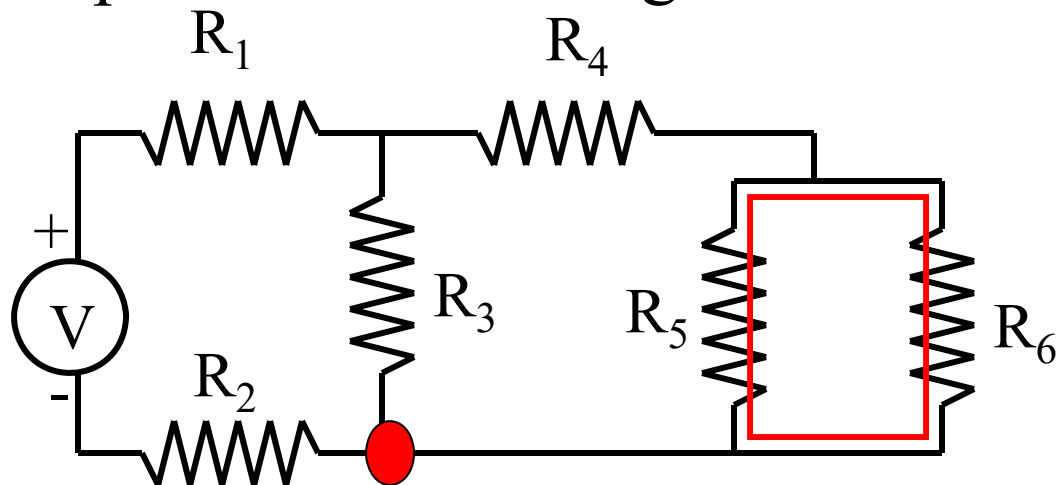
- Una connessione di circuiti serie e parallelo si chiama rete. Applicando ripetutamente le formule di serie e parallelo si può ricavare la resistenza equivalente.



$$R_T = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \left(R_4 + \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6} \right)}{R_3 + R_4 + \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}}$$

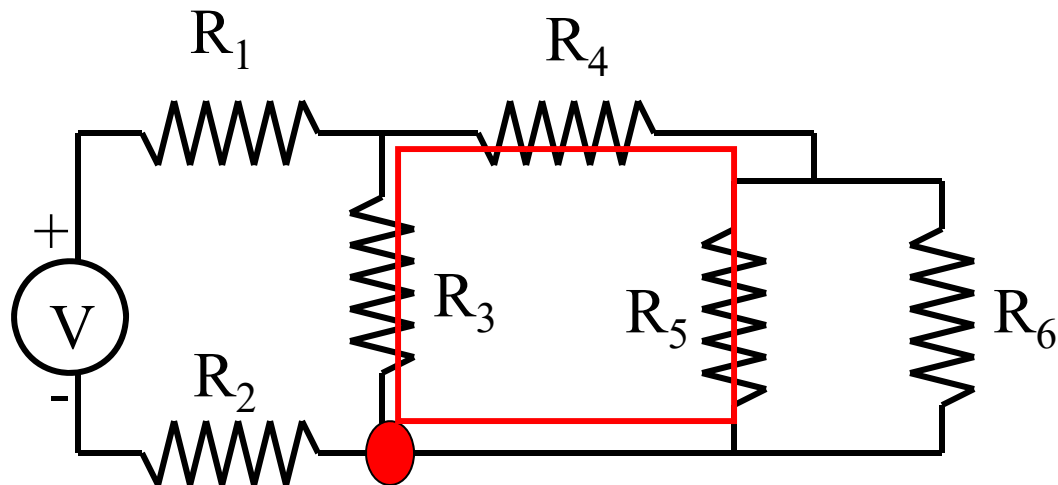
Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un **nodo** e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una **maglia** e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.



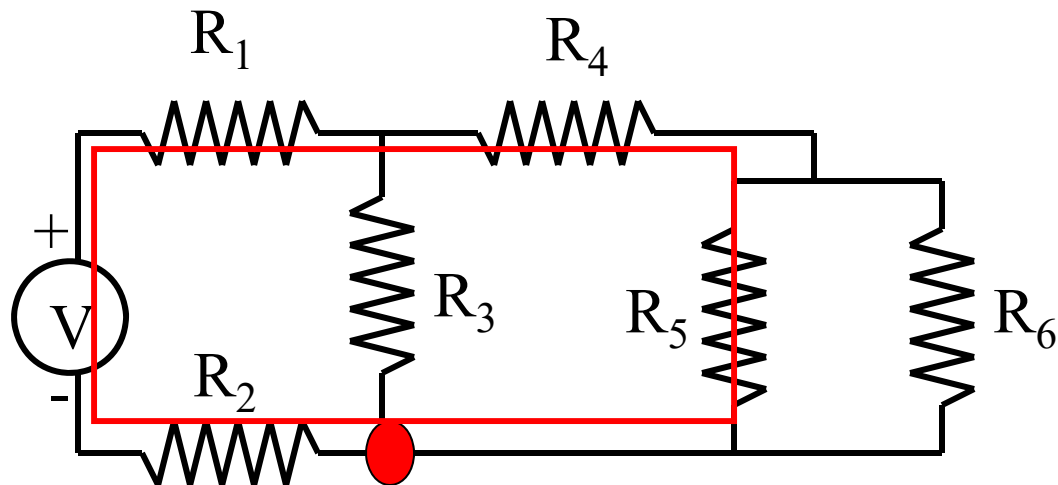
Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un nodo e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una maglia e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.



Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un nodo e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una maglia e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.

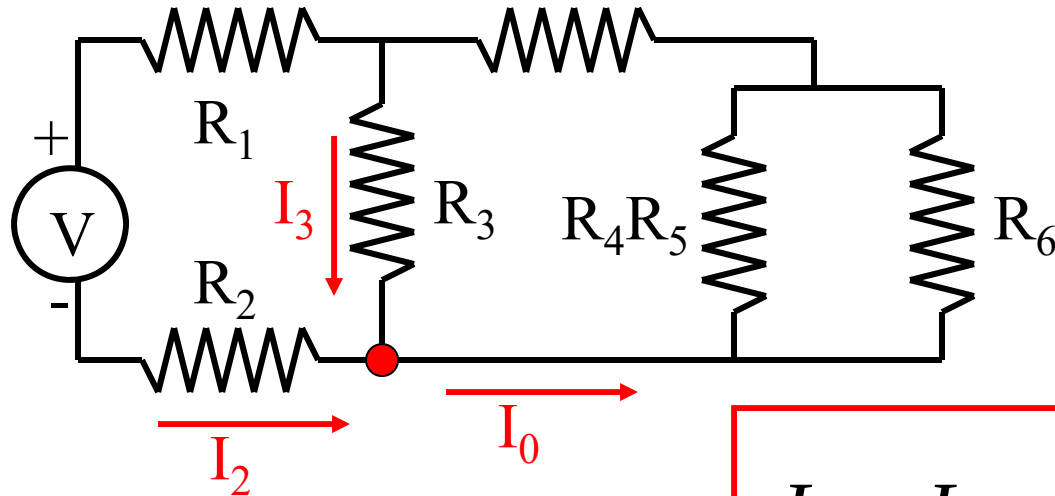


Primo Principio di Kirchhoff

- La somma algebrica delle correnti confluenti in un nodo di un circuito elettrico e' sempre nulla:

$$\sum_k I_k = 0$$

- Si intendono positive le correnti entranti e negative quelle uscenti.



$$I_2 + I_3 - I_0 = 0$$

Primo Principio di Kirchhoff

- Questa legge deriva dal fatto che la carica non si può accumulare nei nodi: in un certo intervallo di tempo la carica che entra deve essere uguale a quella che esce.

Secondo Principio di Kirchhoff

- Lungo una qualsiasi maglia di un circuito elettrico e' nulla la somma di tutte le differenze di potenziale ai capi degli elementi che la costituiscono.

$$\sum V_i = 0$$

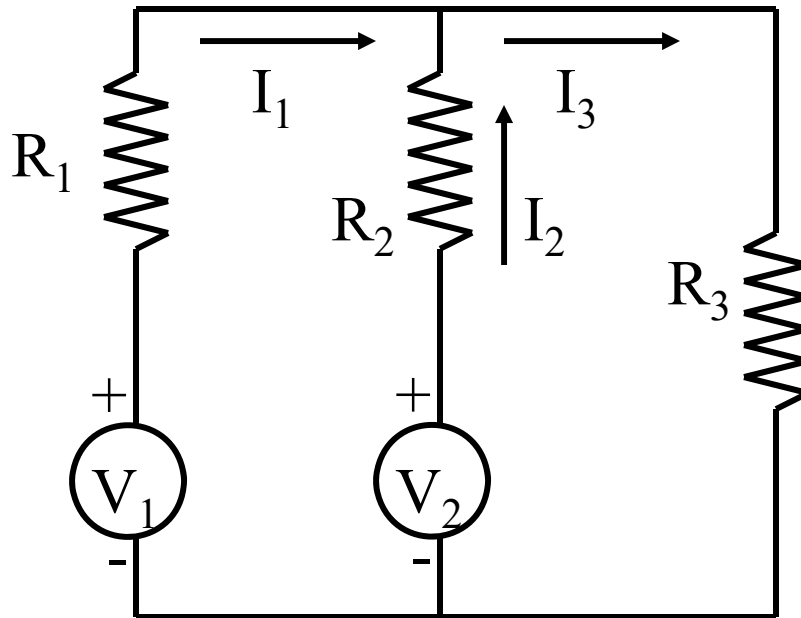
- Se si indicano con V_i le ddp dei generatori e con $R_j I_j$ le cadute di tensione sulle resistenze, la stessa legge si puo' scrivere come:

$$\sum_i V_i = \sum_j R_j I_j$$

- Deriva direttamente dalla applicazione della legge di Ohm ai singoli elementi della maglia

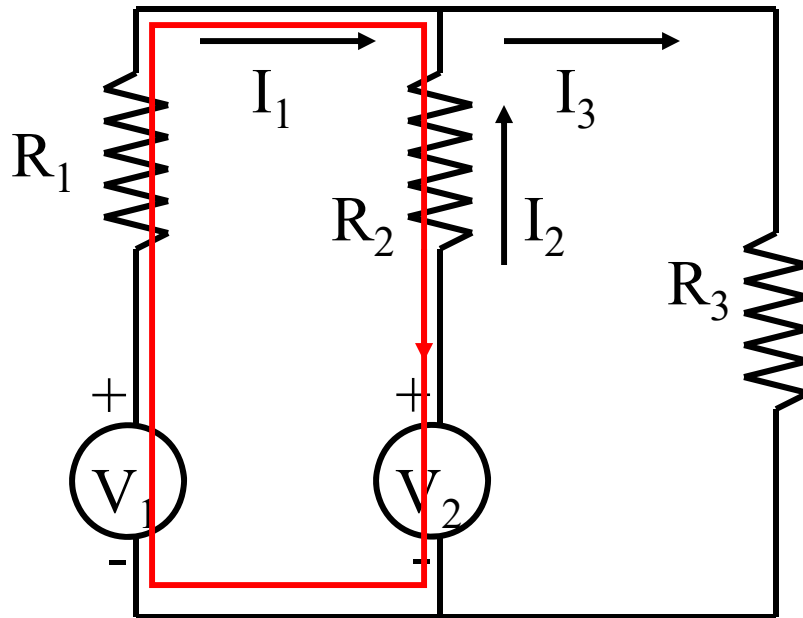
Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre. ; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



Esempio sui Principi di Kirchhoff

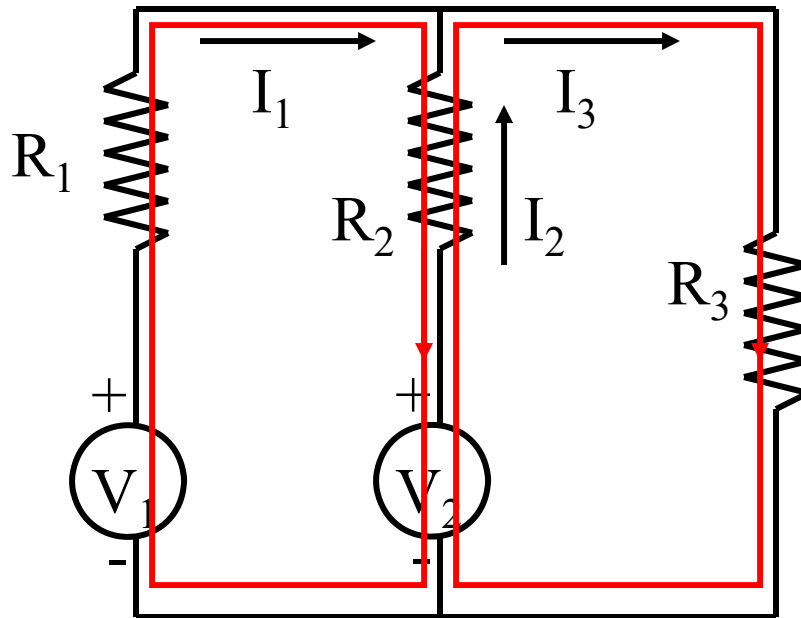
- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .

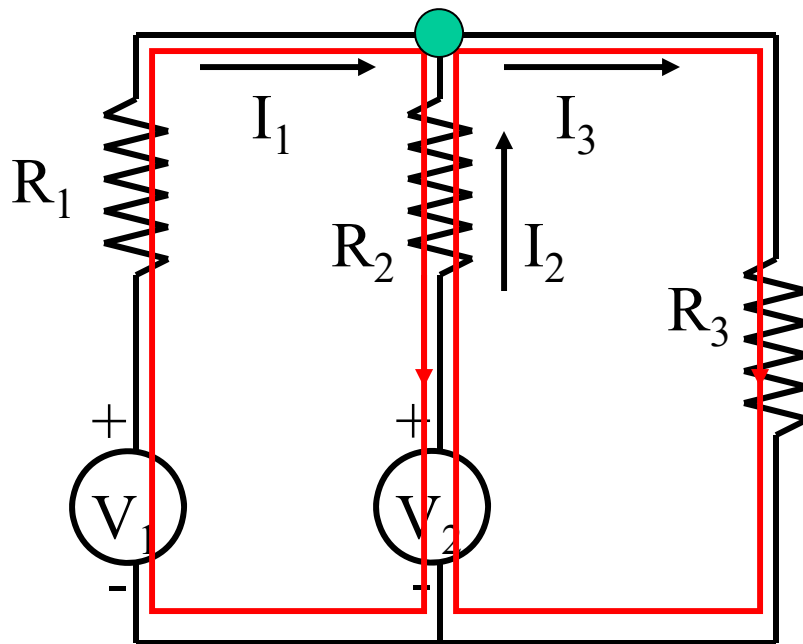


$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$V_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$V_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Esempio sui Principi di Kirchhoff

$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

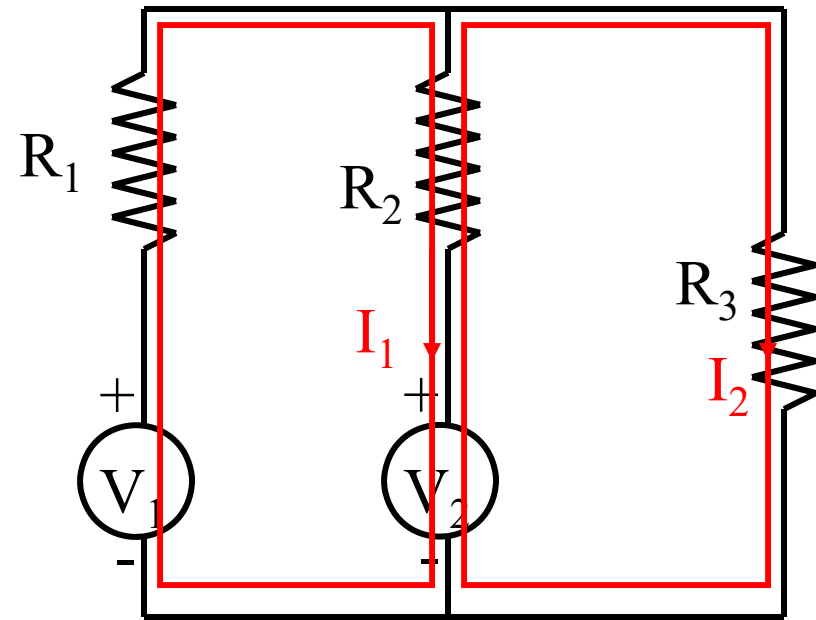
$$V_2 = R_3 I_1 + (R_3 + R_2) I_2$$

e' un sistema lineare a 2 eq. e 2 inc. da cui
si trovano I_1, I_2 e poi $I_3 = I_1 + I_2$
in funzione delle V e delle R

Metodo delle Maglie

- Nella precedente applicazione abbiamo utilizzato delle correnti fisiche I_1, I_2, I_3 .
- La linearita' delle leggi fisiche in gioco permette di utilizzare correnti fittizie, dette **correnti di maglia**, per risolvere il circuito.
- Si fissano delle correnti di maglia con verso arbitrario, e si applica il secondo principio considerando positivi:
 - Le ddp dei generatori che tendono a far circolare la corrente di maglia nel verso prefissato
 - I prodotti RI per i quali il verso di I e' concorde con quello della corrente di maglia.

Metodo delle Maglie

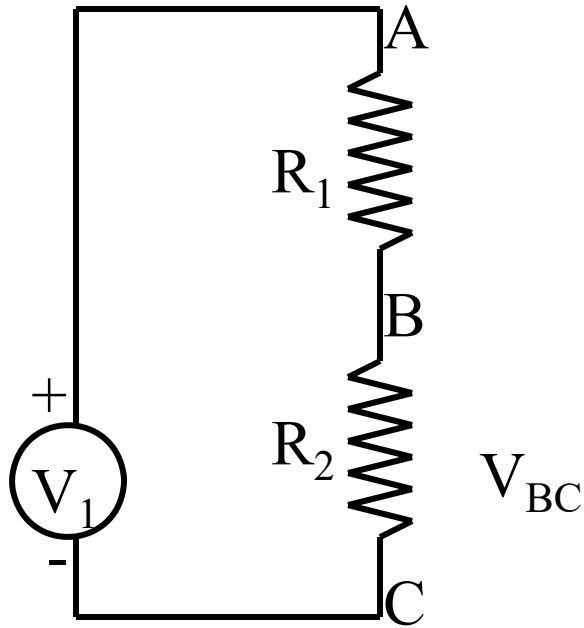


$$V_1 - V_2 = (R_1 + R_2)I_1 - R_2I_2$$

$$V_2 = -R_2I_1 + (R_2 + R_3)I_2$$

- Attenzione: le I di adesso non sono le I di prima !
- La corrente fisica che scorre davvero in un elemento del circuito e' la somma algebrica di tutte le correnti di maglia che ci scorrono.

Applicazione 1: Il partitore di tensione



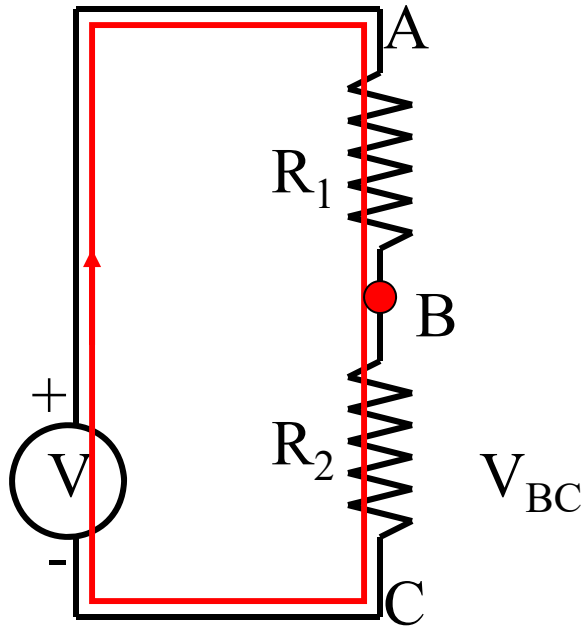
- Determinare la ddp ai capi della R_2
- Si risolve direttamente:

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

$$V_B - V_C = R_2 I = \frac{VR_2}{R_1 + R_2}$$

- E' un circuito utilissimo, perche' permette, partendo da una tensione V , di ottenerne un'altra di un valore qualsiasi compreso tra 0 e V : basta scegliere una R_2 opportuna !

Applicazione 1: Il partitore di tensione



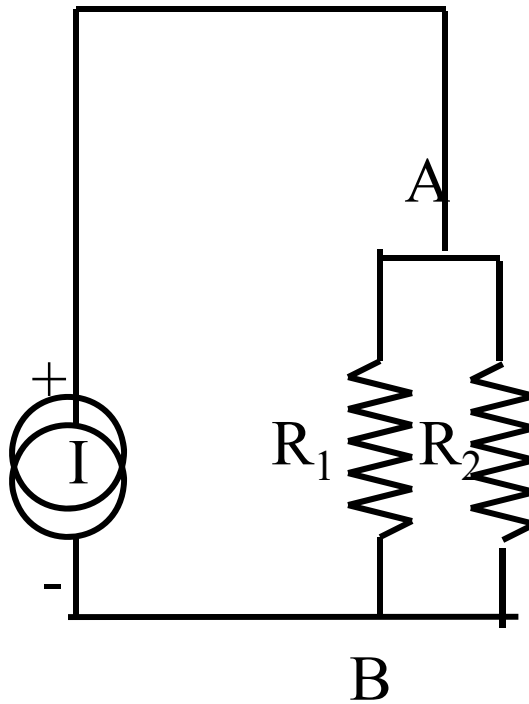
- Ma si puo' risolvere anche con Kirchhoff:

per il nodo B : $I_1 - I_2 = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 = I$

per la maglia : $V = R_1 I_1 + R_2 I_2 = (R_1 + R_2) I$

e quindi : $V_{BC} = I R_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Applicazione 2: Il partitore di corrente

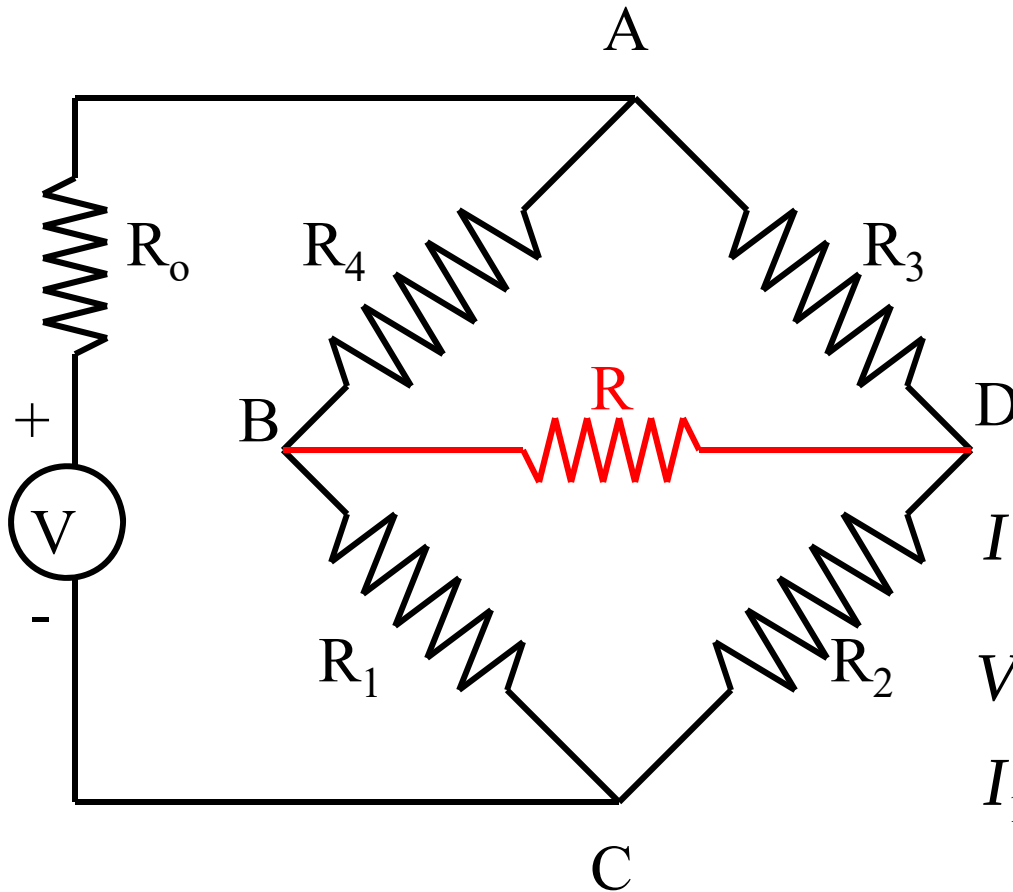


- Determinare la corrente che scorre in R_2
- Si risolve direttamente:

$$I = I_{R1} + I_{R2}$$
$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$
$$I_{R2} = \frac{V_A - V_B}{R_2} = \frac{R_t I}{R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \frac{I}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

- E' un circuito utilissimo, perche' permette, partendo da una corrente I , di ottenerne un'altra di un valore qualsiasi compreso tra 0 e I : basta scegliere una R_1 opportuna !

Applicazione 2: ponte di Wheatstone



- Trovare che condizione devono soddisfare le resistenze R_1, R_2, R_3, R_4 perché in R non scorra corrente (ponte in equilibrio)

- Si risolve direttamente:

$$I = \frac{V_B - V_D}{R}$$

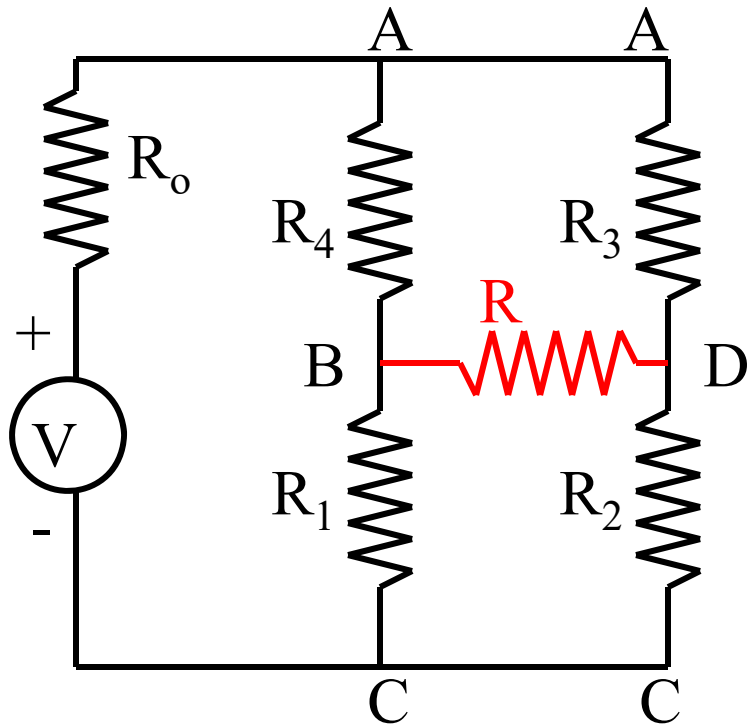
$$V_B = V_D \Rightarrow V_B - V_C = V_D - V_C \Rightarrow$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad \text{ma, essendo } I = 0$$

$$I_1 = \frac{V_C - V_A}{R_1 + R_4} \quad \text{e} \quad I_2 = \frac{V_C - V_A}{R_2 + R_3}$$

$$\Rightarrow \boxed{R_1 R_3 = R_2 R_4}$$

Applicazione 2: ponte di Wheatstone



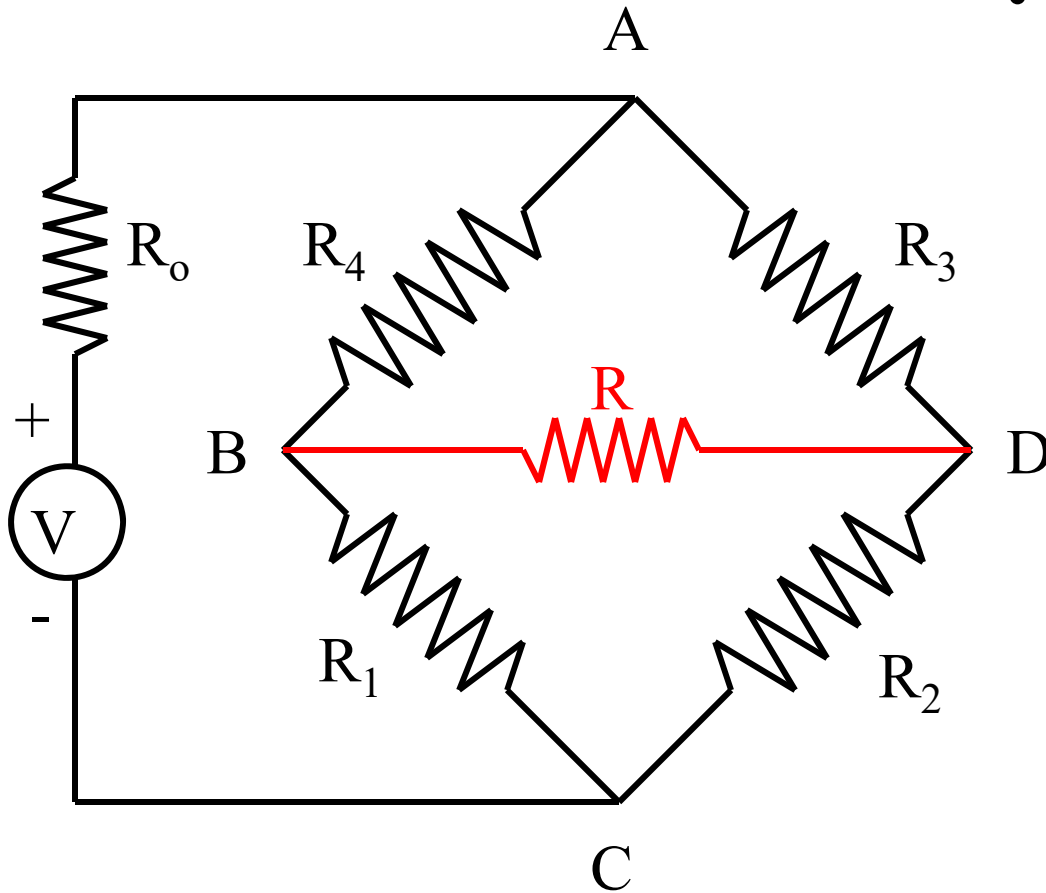
- Una soluzione piu' furba consiste nel ridisegnare il ponte cosi': come due partitori in parallelo.
- Allora perche' in B ci sia la stessa tensione che in D basta che i due partitori abbiano la stessa partizione, cioe' che

$$\frac{R_1}{R_1 + R_4} = \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

ovvero

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

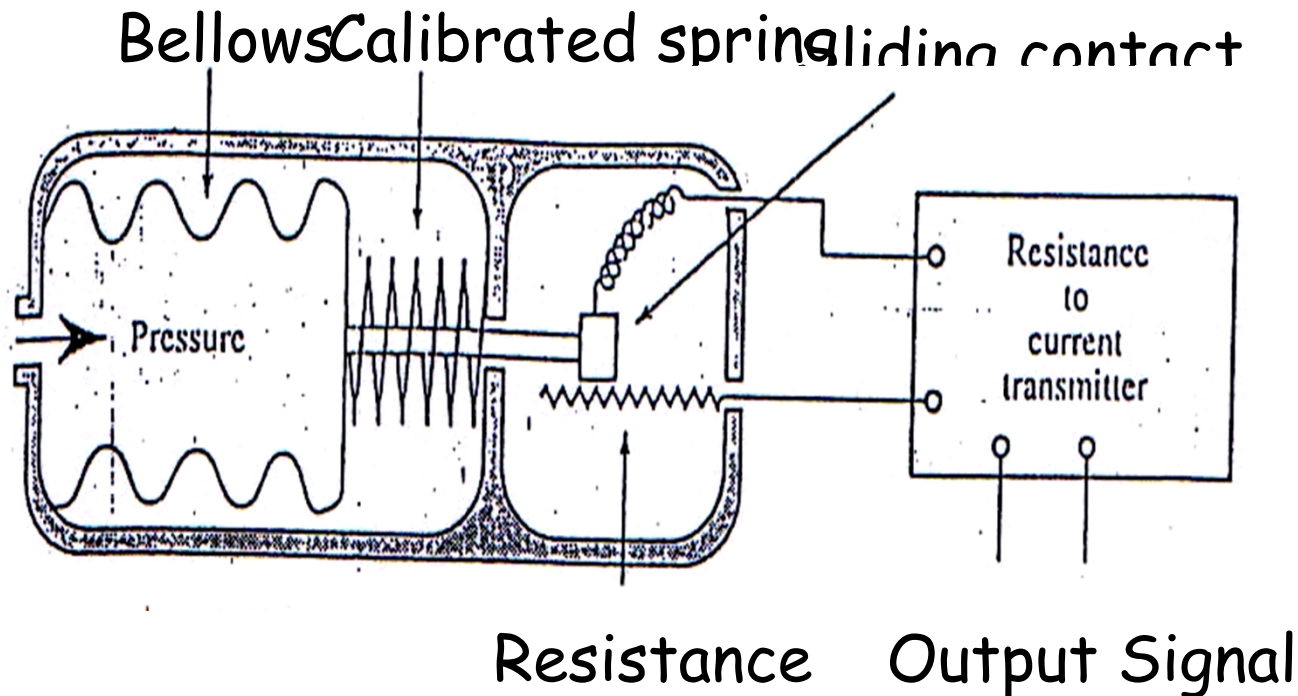
Applicazione 2: ponte di Wheatstone



- Ovviamente si può risolvere anche tramite le leggi di Kirchhoff, ma lo faremo più avanti...

Example :

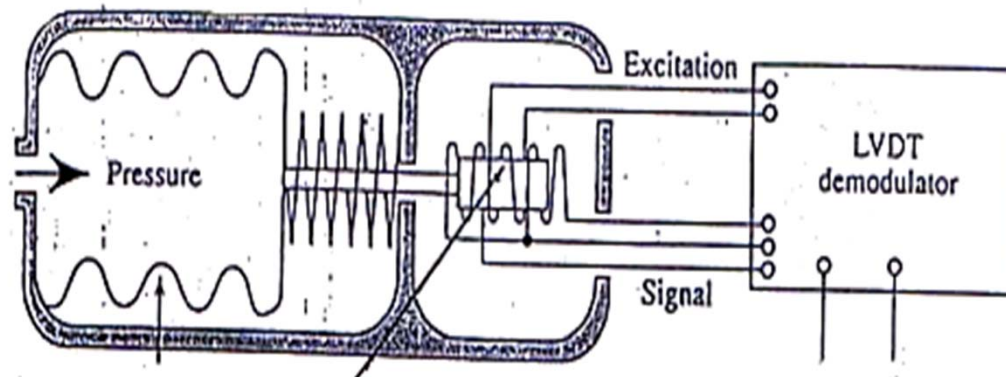
- i. Bellow-resistance pressure sensor
 - The pressure is proportionate to the resistivity.
 - The resistance change is detected by displacement of sliding contact in the resistance element.



Example :

ii. **Bellow-inductance pressure sensor**

- The pressure is proportionate to the inductance change which is detected from the displacement of the core in the wire coil.
- The core movement will produce AC signal output which will give the value and direction of inductance.
- LVDT (linear variable differential transformer) demodulator is used to convert the AC output to DC.



Bellows Core

Output Signal

iii. Diaphragm-capacitance pressure sensor

- The pressure is proportionate to the capacitance change at the output through dielectric change.
- Pressure from the sensor element causes the diaphragm to move towards the plate and produces dielectric change.

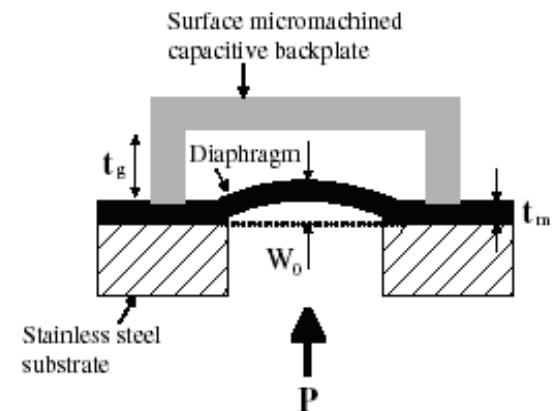
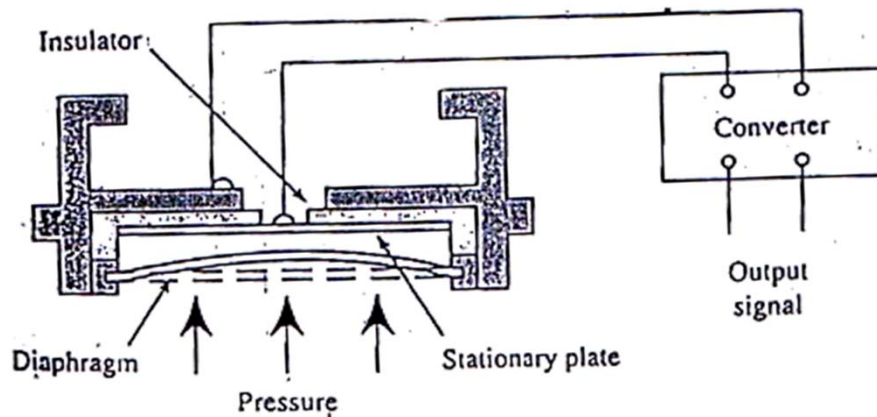
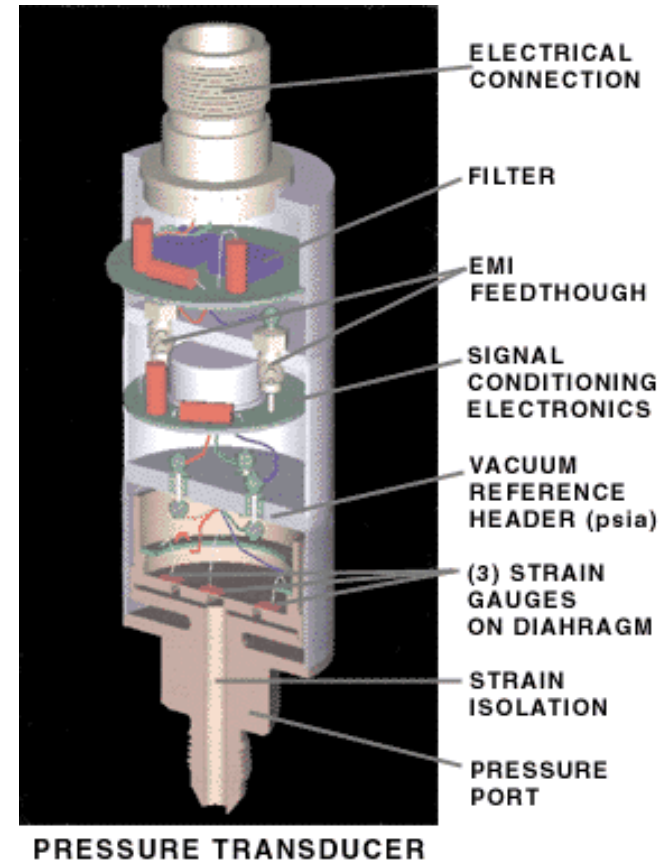
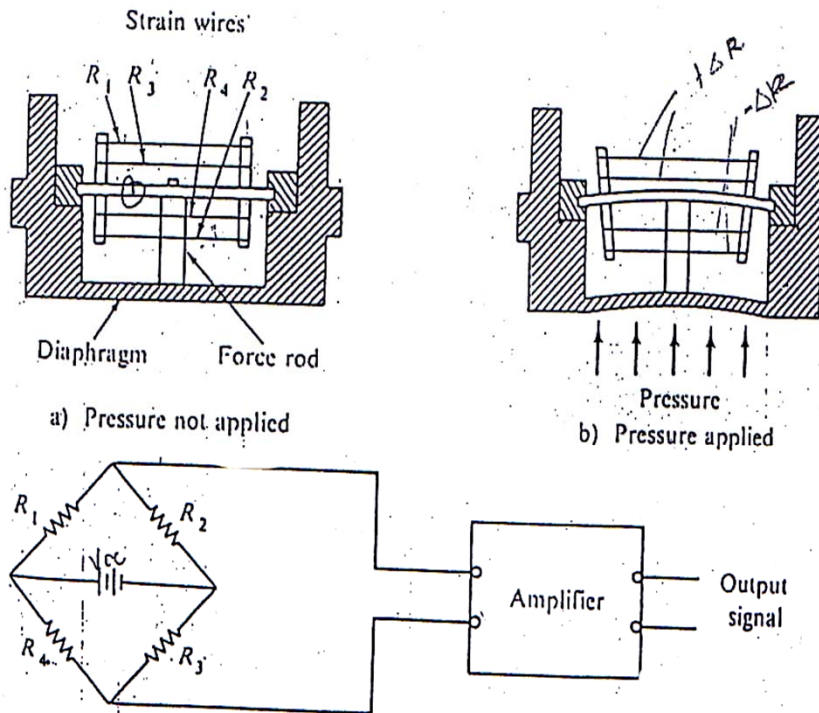


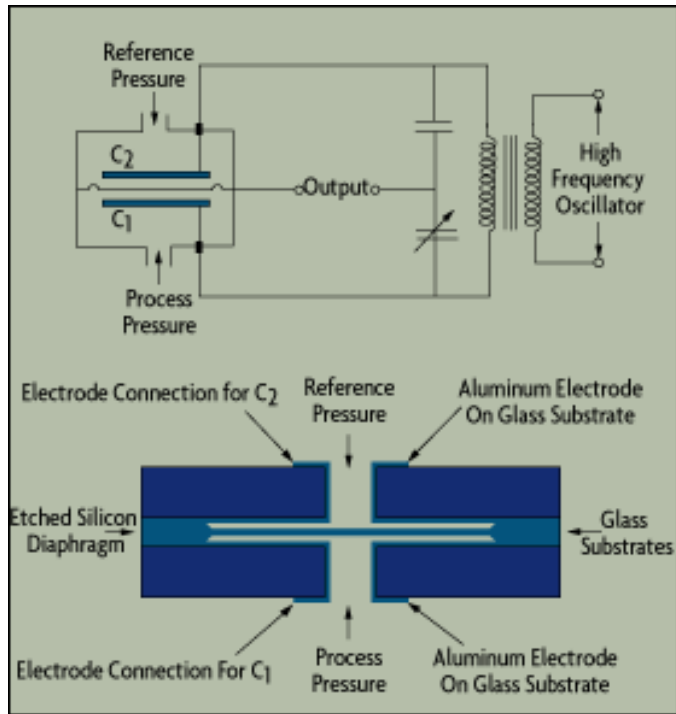
Figure 4. A schematic diagram of the side view of the capacitive pressure sensor.

2. STRAIN GAUGE PRESSURE SENSOR

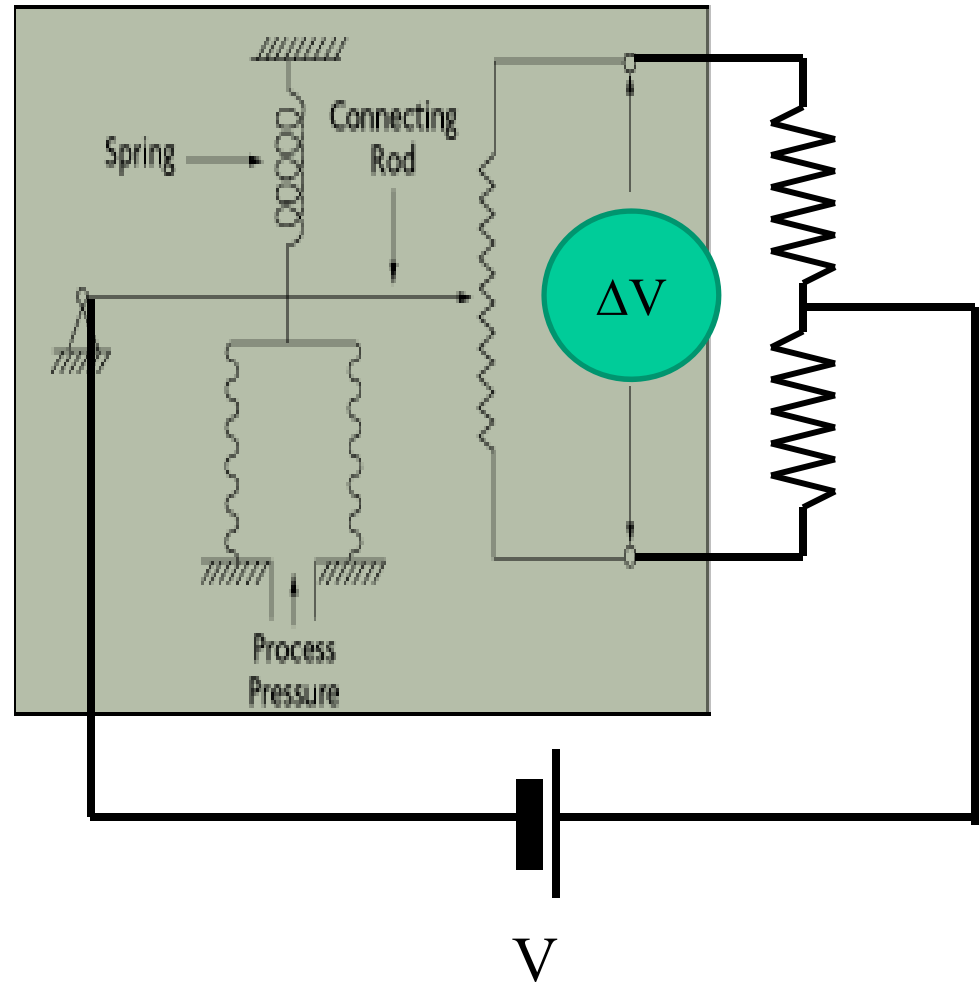
- Strain gauge is a type of resistive transduction.
- Pressure measurement is obtained from displacement of elastic element.
- Pressure is measured through force that is exerted on the diaphragm where the force will be detected by the strain gauge and resistance change will be produced.
- Wheatstone Bridge circuit is used to detect the change in pressure and an amplifier is used to amplify the small output signals.



Strain Gauge Pressure Sensor



Capacitance Type



Resistance Type

Wheatstone readout based strain gauge sensor

