

Laboratorio II _ 1^a lezione

Introduzione al corso; legge di Coulomb; corrente elettrica; materiali conduttori e isolanti; generalità su generatori di corrente continua (pile, celle fotovoltaiche, generatori termoelettrici); circuiti elettrici (rami e nodi) 1a legge di Ohm; leggi di Kirchhoff su correnti e tensioni (1)

- Per la parte "Laboratorio di Elettromagnetismo" (G.V. Margagliotti) → Dispense caricate su Moodle
→ Canale TEAMS: CD2021 049SM LABORATORIO II
- Laboratorio: presso Lab. Centrale, ed. B Ingegneria

Laboratorio Didattico Ed. B Ingegneria	14-15	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula A ed. F)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula A ed. F)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI
Laboratorio Didattico Ed. B Ingegneria	15-16	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula A ed. F)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula A ed. F)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI
Laboratorio Didattico Ed. B Ingegneria	16-17	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat) inizio ore 16.30	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat) inizio ore 16.30	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI
Laboratorio Didattico Ed. B Ingegneria	17-18	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat)	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI
Laboratorio Didattico Ed. B Ingegneria	18-19	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat) termine ore 18.30	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI (Aula Poropat/Lab.Informatico - Aula Poropat) termine ore 18.30	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI	Laboratorio II MARGAGLIOTTI-MARTIN-RUI

- Modalità d'esame: ...

Lezioni Laboratorio II 2021/2022

Data	Orario	Ore	Aula	Argomenti trattati a lezione
04/10/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Introduzione al corso; legge di Coulomb; corrente elettrica; materiali conduttori e isolanti; generalità su generatori di corrente continua (pile, celle fotovoltaiche, generatori termoelettrici); circuiti elettrici (rami e nodi) 1a legge di Ohm; legge di Kirchhoff sulle correnti; legge di Kirchhoff sulle tensioni (1)
04/10/21	14 ÷ 16	2	A _ (ed. F)	Legge di Kirchhoff sulle tensioni (2); 2a legge di Ohm; dipendenza della resistenza dalla temperatura; resistenza equivalente di resistenze in serie, in parallelo e altre configurazioni; partitori di tensione; amperometro analogico a bobina mobile; galvanometro balistico
06/10/21	14 ÷ 16	2	A _ (ed. F)	Voltmetro e voltmetro elettrostatico; azione perturbativa di amperometri e voltmetri; ohmetro; tecnica voltamperometrica per misure di resistenze; ponte di Wheatstone; potenza elettrica e resistenze in CC; strumento universale
11/10/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Generatori di tensione e corrente, ideali e reali; stato di carica di una pila, misura della sua effettiva f.e.m. e resistenza interna; misura della dipendenza della resistenza dalla temperatura, per un filo di rame; fluttuazioni della resistenza dinamica come indice di transizione di regime dell'assorbimento d'energia(1)
18/10/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Resistenze non ohmiche; curva caratteristica di una lampadina a incandescenza; resistenza efficace e resistenza dinamica; fluttuazioni nella resistenza dinamica come indice di transizione di regime di assorbimento d'energia; struttura di una relazione di laboratorio
25/10/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	La giunzione p-n; il diodo a semiconduttore e la sua curva caratteristica tensione-corrente; dipendenza dalla temperatura delle caratteristiche operative di un diodo a semiconduttore; diodi come rivelatori di particelle ionizzanti
08/11/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Misura della costante di Faraday mediante una cella elettrolitica e stima delle dimensioni dei portatori di carica ionici solvatati. Celle fotovoltaiche. Diodi a LED, loro curve I/V e costante di Planck.
15/11/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Oscilloscopio analogico come strumento per lo studio di segnali in tensione in funzione del tempo; sua linearità di risposta; velocità di risposta e banda passante; concetto di trigger.
22/11/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Capacità, resistenze e induttanze in C.A.; estensione delle leggi di Kirchhoff in C.A.; circuiti RC in dominio dei tempi e misure di capacità; circuito a rilassamento con lampadina al Neon
29/11/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Circuiti RCL in dominio dei tempi (oscillazioni smorzate), e in dominio delle frequenze (condizioni di risonanza); misura di induttanze; filtri passa banda; circuito raddrizzatore/rettificatore a diodo singolo e a ponte di diodi
06/12/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Legge di Ampère e sua verifica secondo lo schema di Oersted; misura del campo magnetico locale tramite la legge di Faraday-Lenz; effetto Hall e sonde Hall
13/12/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Misura di e/m con tubo a fascio filiforme; misura di e/m con tubo di Braun; correnti parassite, trasformatori; misura di resistività con correnti parassite (1)
20/12/21	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Misura di resistività con correnti parassite (2); Misura della carica elementare con l'apparato di Millikan
	09 ÷ 11	2	A _ (ed. F)	Misura della carica elementare con l'apparato di Millikan

Piano di massima lezioni frontali a.a. 21/22

... da confermare (Moodle aggiorn.)

Laboratorio II 2021/2022						
		Data	Orario	Ore	Lab	
O	1	12/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # Verifica leggi Kirchhoof & Ohm, stato di carica di una pila, dipendenza resistività/temperatura
T	2	14/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
T	3	15/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
O	4	19/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # Curva caratteristica di lampadina a incandescenza; (relazione)
B	5	21/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
R	6	22/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
E	7	26/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # Curva caratteristica di un diodo semiconduttore in funzione della temperatura (relazione)
	8	28/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
	9	29/10/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
N	10	09/11/21	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21 & Cent. Ed. B	Mar. # Misura cost. di Faraday; curve di celle fotovoltaiche e led; stima della cost. di Plank
O	11	10/11/21	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21 & Cent. Ed. B	Mer. "" "" ""
V	12	11/11/21	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21 & Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
E	13	12/11/21	14 ÷ 16:00	2	Lab_T21	Ven. # Raccolta dati Faraday
M	14	16/11/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # Oscilloscopio analogico, segnali, generatore di segnali. Lissajous
B	15	18/11/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
R	16	19/11/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
E	17	30/11/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # RC nel dominio dei tempi; misure di capacità; circuito a rilassamento con lampadina al Neon
	18	02/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
	19	03/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
	20	07/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # RCL nel dominio dei tempi e delle frequenze; curva di risonanza e sfasamenti (relazione)
	21	09/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
D	22	10/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
I	23	14/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Mar. # Verifica dell'effetto Hall su una piastrina di rame
C	24	16/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Gio. "" "" ""
	25	17/12/21	14 ÷ 19:00	5	Cent. Ed. B	Ven. "" "" ""
G	26	Gen. 2022	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21	??? # Recuperi
E	27	Gen. 2022	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21	??? # Recuperi
N	28	Gen. 2022	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21	??? # Recuperi
	29	Gen. 2022	14 ÷ 19:00	5	Lab_T21	??? # Recuperi

Laboratorio
Prospetto
base

(Moodle
aggiorn.)

Ricordiamo ora alcuni fatti e leggi inerenti il “mondo elettrico” che vedrete con più dettaglio nel corso dell’insegnamento di elettromagnetismo, ma che ci saranno necessari prima che possiate averli visti là!

La carica elettrica è quantizzata (vedremo esp. Millikan) e sarebbe naturale scegliere la più piccola carica in natura (elettrone), come unità di misura della carica, ma è così piccola da non risultare comoda per i fenomeni macroscopici che studieremo qui. Trattando l’elettromagnetismo e i fenomeni elettrici utilizzeremo come unità di misura il **Coulomb**:

$$1 \text{ C} \simeq 6.242 \times 10^{18} \text{ cariche elettroniche}$$

Legge di Coulomb: esprime la forza $\vec{F}_{1,2}$ agente fra due cariche elettriche puntiformi di valori Q_1 e Q_2 , poste alla distanza $r_{1,2}$ nel vuoto

$$|\vec{F}_{1,2}| = Q_1 Q_2 / 4\pi\epsilon_0 r^2$$

Potenziale elettrico di una carica elettrica puntiforme Q a distanza r dalla stessa, nel vuoto

$$\Phi = Q / 4\pi\epsilon_0 r$$

Corrente elettrica: $I = dQ/dt \rightarrow$ **flusso di carica** ... ma bisogna che la carica sia libera di muoversi sotto l’effetto di campi elettrici, e magari è utile riuscire a guidare il suo moto su opportuni percorsi ...

Elettroni in un solido e materiali conduttori

Trascurando interazione $e - e$, si immagina che in un solido cristallino ogni e senta potenziale periodico dovuto alla sovrapposizione dei potenziali atomici degli atomi costituenti il materiale.

Numero e di conduz. in un metallo indep. dalla temperatura del metallo

Figura 1. Andamento del potenziale atomico $U(r)$

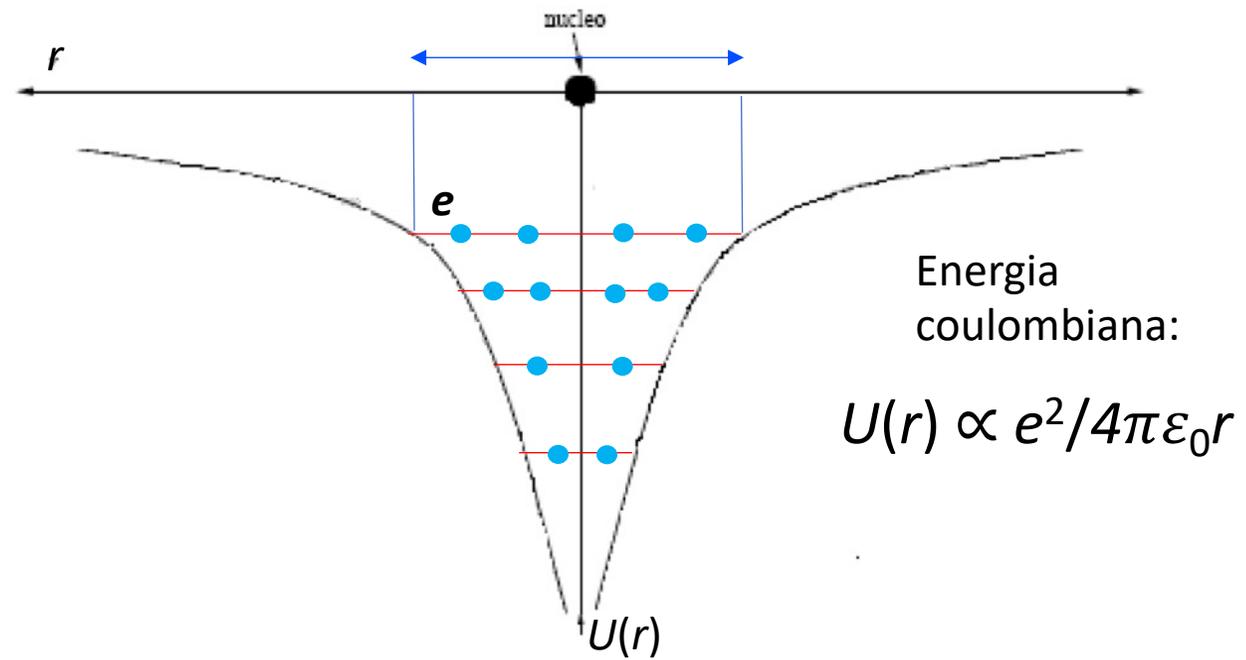
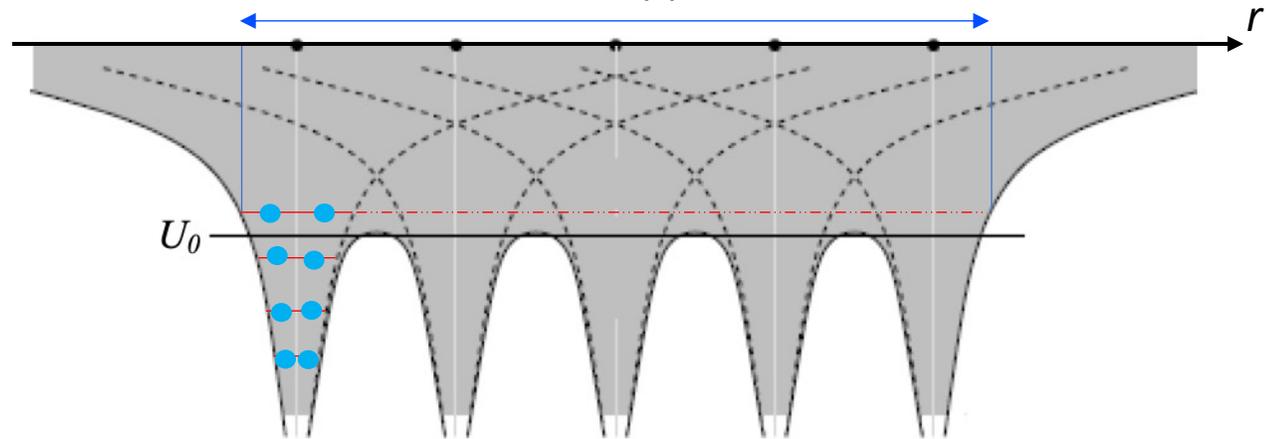
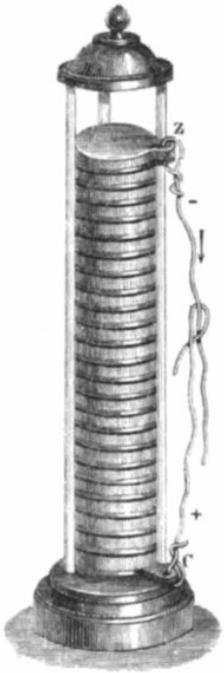


Figura 2. La curva continua rappresenta il potenziale visto da un elettrone all'interno di un solido. Esso è dato dalla sovrapposizione dei potenziali generati dai singoli nuclei (curve tratteggiate)

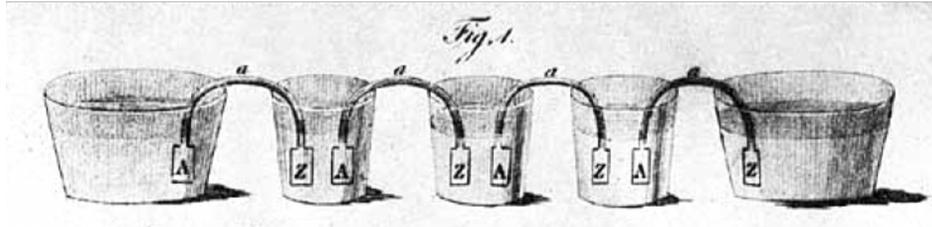


Si può notare che all'interno del solido la curva di potenziale non tende asintoticamente a zero, come nell'atomo isolato, ma è una funzione periodica costituita da una successione di buche di potenziale con i massimi U_0 localizzati nei punti medi tra due nuclei vicini.

Tensioni e Correnti continue e loro sorgenti

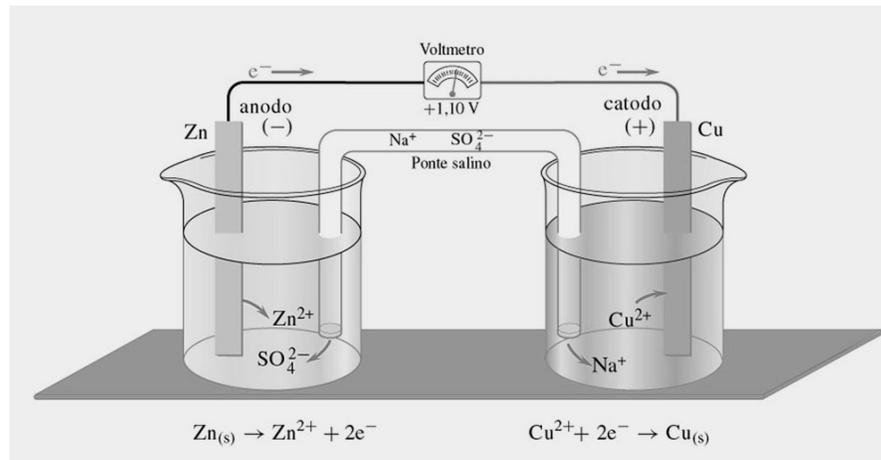


Volta 1799
Pila a dischi



Volta _ Pila a corona di tazze

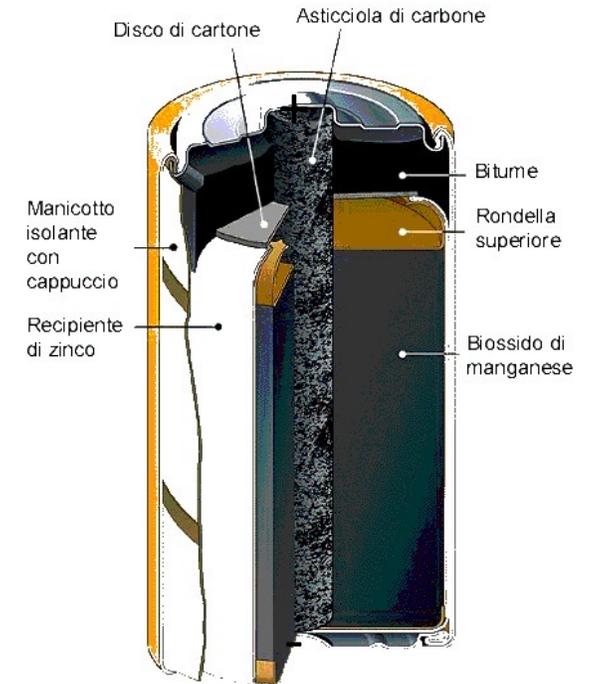
La f.e.m. sviluppata da ogni elemento della pila di Volta è $\approx 1.06 \text{ V}$.



Pila Daniell a ponte salino

La f.e.m. sviluppata da ogni elemento della pila Daniell è $\approx 1.1 \text{ V}$.

Pila Leclanchè ...
(la prima pila a secco)
f.e.m. $\approx 1.5 \text{ V}$

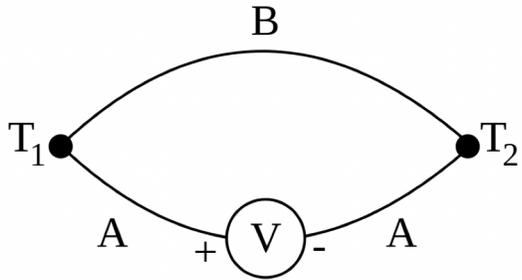


Struttura di una tipica pila zinco - carbone
(Sorgente: Varta)

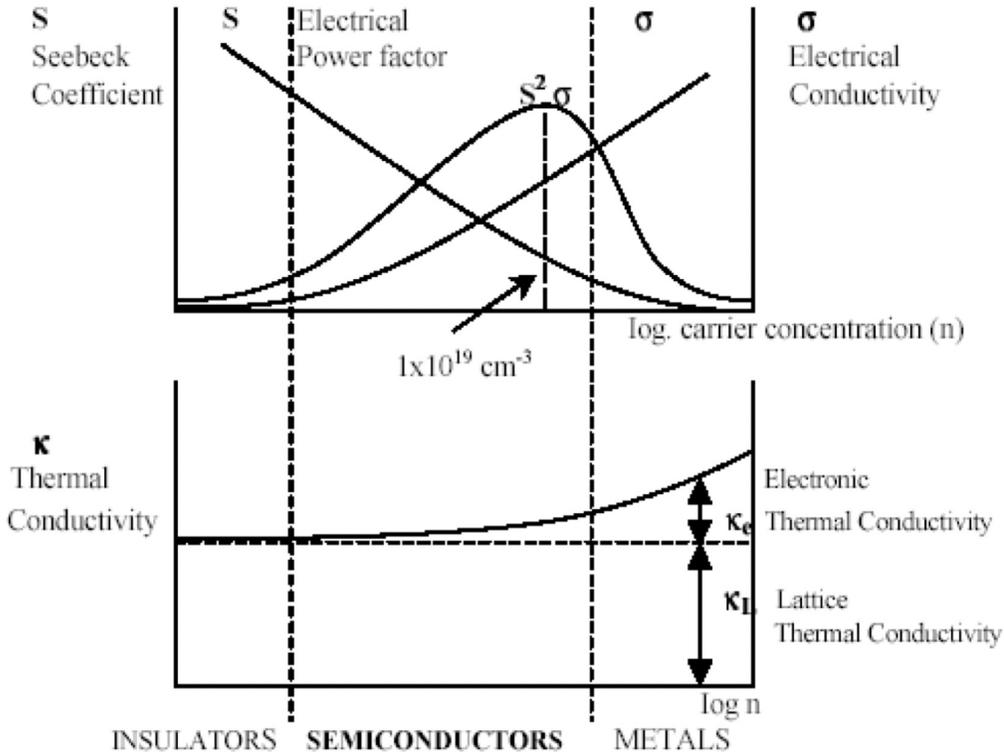
Pila zinco-carbone
f.e.m. $\approx 1.5 \text{ V}$

Celle fotovoltaiche ... ne parleremo abbastanza estesamente trattando dei diodi a semiconduttore

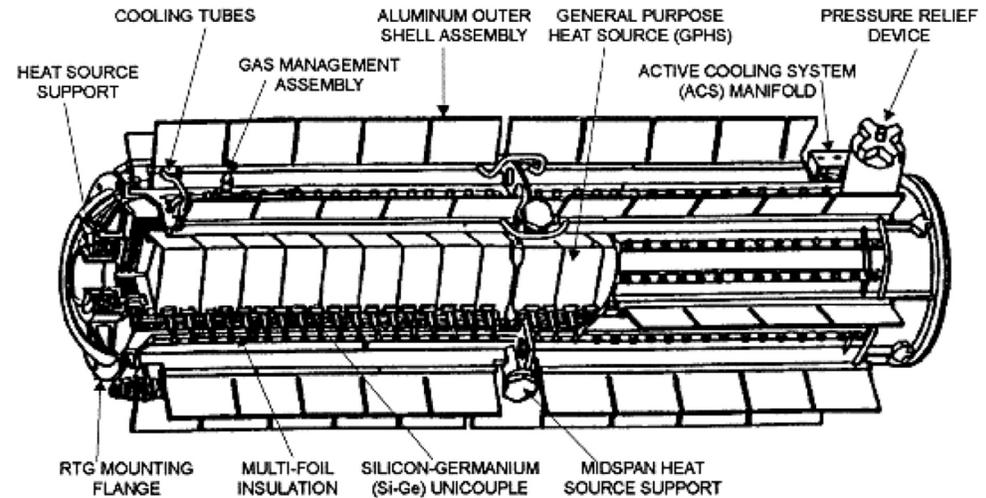
Termocoppia



Un gradiente termico ∇T agli estremi d'una giunzione bimetallica determina l'insorgere d'un campo elettrico $E = -\nabla V$ orientato con verso opposto a ∇T (effetto Seebeck)
 Il rapporto $|\nabla V|/|\nabla T| = S$, detto coefficiente di Seebeck, è tipicamente espresso in $\mu V/K$



Generatori termoelettrici a radioisotopi (RTG)



GPHS – RTG

... ma pile e il resto non riescono a produrre tutta la corrente continua che serve, da cui la necessità di utilizzare centrali che funzionano grazie alla trasformazione di energia gravitazionale (idrauliche), eolica, di combustione (carbone, gas, petrolio), nucleare ... in energia elettrica, producendo corrente “**alternata**”, non “**continua**”.

Come trasformare in continua la corrente alternata lo vedremo dettagliatamente in seguito.

Per ora sappiamo che esistono dei cosiddetti “**generatori di corrente (e tensione)**” continua, ottenendola da quella alternata prodotta dalle centrali, che noi utilizzeremo ampiamente in laboratorio ...

Questi generatori forniscono tensioni e correnti elettriche generalmente funzioni del tempo

$$V = V(t), I = I(t)$$

per molti versi più pratici dei generatori diretti di corrente continua visti poc'anzi, **ma necessitano di una centrale ...**

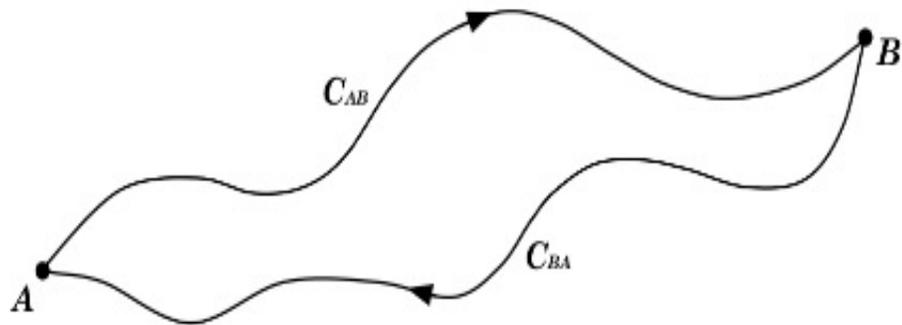
Nel seguito distingueremo due possibili regimi di funzionamento dei “**circuiti elettrici**”:

1) **fenomeni stazionari**, per i quali $V(t) = \text{cost.}$ e $I(t) = \text{cost.}$, assumendo idealmente $-\infty < t < +\infty$;

2) **fenomeni dipendenti dal tempo**, a loro volta suddivisi in:

- **fenomeni periodici**;
- **fenomeni aperiodici** che possono essere sia **transienti** che **impulsivi**.

Campo di forza elettrostatico \vec{F} è conservativo: muovendo in esso oggetto carico che non lo perturbi, lungo un cammino chiuso qualunque C , si compie lavoro nullo



$$\int_{C_{AB}} \vec{F}_e d\vec{s} = - \int_{C_{BA}} \vec{F}_e d\vec{s} = \int_{-C_{BA}} \vec{F}_e d\vec{s} = 0$$

Si introduce U , **energia potenziale**, dipendente solo dalla posizione:

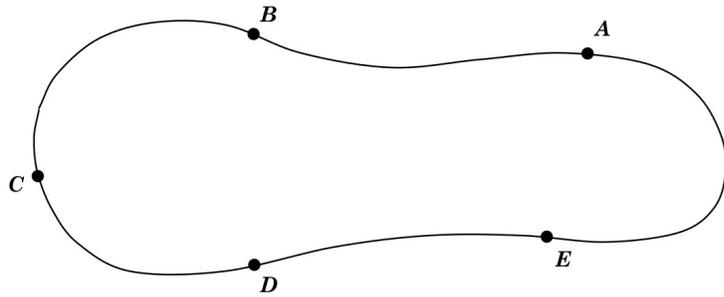
$$U(B) - U(A) = \int_A^B dU = - \int_A^B \vec{F}_e d\vec{s}$$

dU è **differenziale esatto**, U è quindi **univocamente definita** a meno di costante additiva arbitraria. Si ha $\vec{F}_e = -\vec{\nabla}U$

Pensando distribuzione statica di carica Q come origine della forza elettrica, si definisce il campo elettrico $\vec{E}(\vec{r})$ in ogni punto \vec{r} dello spazio esterno al volume occupato da Q , tale che posta in \vec{r} una carica q che non perturbi $\vec{E}(\vec{r})$, essa senta la forza elettrica $\vec{F}_e(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$

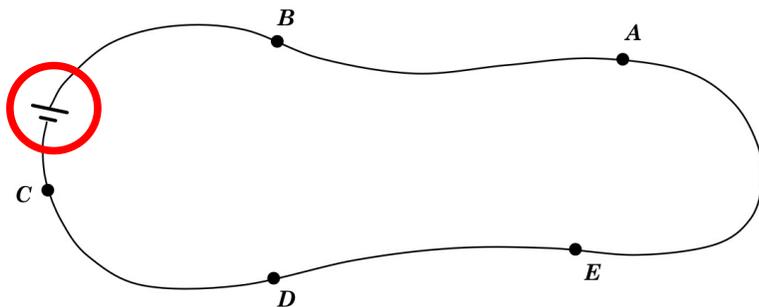
Si definisce una **funzione differenza di potenziale (d.d.p.)** $\Delta V = \Delta V(A, B) = V(B) - V(A) = \int_A^B \vec{E} d\vec{s}$
 tale che $\Delta U = q\Delta V$ ed $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

Sistema fisico isolato: porzione di circuito che si chiude su se stesso (**maglia**)



$$\Delta V_{AB} + \Delta V_{BC} + \Delta V_{CD} + \Delta V_{DE} + \Delta V_{EA} = 0$$

Si introduca nella maglia un generatore di tensione continua



$$\Delta V_{CD} + \Delta V_{DE} + \Delta V_{EA} + \Delta V_{AB} = -\Delta V_{BC} = \Delta V_{CB}$$

$\Delta V_{BC} = \mathcal{E} - IR_i$ con \mathcal{E} forza elettromotrice del generatore, I corrente che scorre nel circuito e nel generatore, R_i resistenza interna del generatore.

Resistenza al passaggio di una corrente elettrica → **nuovo concetto.**

Si è scritta la **legge di Ohm** sulla quale torneremo.

Ciò equivale alla **conservazione dell'energia** (elettrica) per un sistema isolato (maglia conduttrice) e si può generalizzare:

$$\sum_{(maglia)} \Delta V_i = 0$$

Regola di Kirchhoff per le tensioni: la somma delle tensioni ai capi degli elementi circuitali di una maglia, inclusi eventuali generatori con la loro resistenza interna, è nulla.

Un punto d'un circuito da cui si dipartono tre o più rami è detto nodo

Dalla **conservazione della carica** (elettrica) si ha

$$\sum_{(nodo)} \Delta I_i = 0$$

Regola di Kirchhoff per le correnti: la somma delle correnti entranti in un nodo è uguale alla somma delle correnti uscenti dallo stesso nodo

Applicando una **d.d.p.** (non una **f.e.m.**) ai capi aperti d'un filo conduttore si genera una forza che spinge gli e di conduzione nel verso dal capo a potenziale minore verso quello a potenziale maggiore.

Se filo non è collegato ad altri conduttori, dopo fase transiente iniziale, il **moto netto** delle cariche cessa.

Collegando il filo in modo che e entrino ad una estremità uscendo dall'altra, sospinti da una **f.e.m.**, si instaura un flusso di carica (**corrente**) con il conduttore che resta globalmente neutro.

- Dispositivo che produce una tensione **nota e indipendente** dal circuito esterno collegato e mantiene in esso un flusso continuo di carica → **generatore di f.e.m.** (tensione)
- Un dispositivo che produce e mantiene nel circuito esterno collegato una corrente indipendente dal circuito stesso, si chiama **generatore di corrente**

Ricordando che **la carica è quantizzata**:
$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ(t)}{dt}$$

Unità di misura della corrente elettrica nel S.I. è l' **Ampere (A)**: **1A = (1 Coulomb)/(1s)**

Sperimentalmente, per molti tipi di conduttori vale, approssimativamente, una relazione di proporzionalità fra tensione applicata e corrente che lo attraversa.

Legge di Ohm:

$$V(t) = R \cdot I(t) = R \frac{dQ(t)}{dt}$$

Il coefficiente di proporzionalità R è detto “**resistenza del conduttore**” e si misura in **Ohm (Ω)**:

$$1 \Omega = (1 \text{ Volt}) / (1 \text{ Ampère}) = (1 \text{ Volt}) \times (1 \text{ sec.}) / (1 \text{ Coulomb})$$

La resistenza R si correla alle caratteristiche geometriche e strutturali del conduttore

$$R = \int_0^l \frac{\rho(l')}{\Sigma(l')} dl'$$

(detta **2a legge di Ohm**)

$\rho(l')$ → **resistività**, in ($\Omega \times m$), specifica del materiale, dipende dalla coordinata di posizione l' nel conduttore;

l = lunghezza efficace del conduttore; $\Sigma(l')$ = area sezione retta del conduttore alla coordinata l'