



LEGGE DI
Joule PER
UN GENERATORE di FEM

$$dL = (V_A - V_B) dQ \quad I = \frac{dQ}{dt}$$

lavoro che fa il campo elettrico

per spostare dQ da V_A a V_B

lavoro che il campo
elettrico delle cariche

e lo mette in movimento

$$= (V_A - V_B) I dt$$

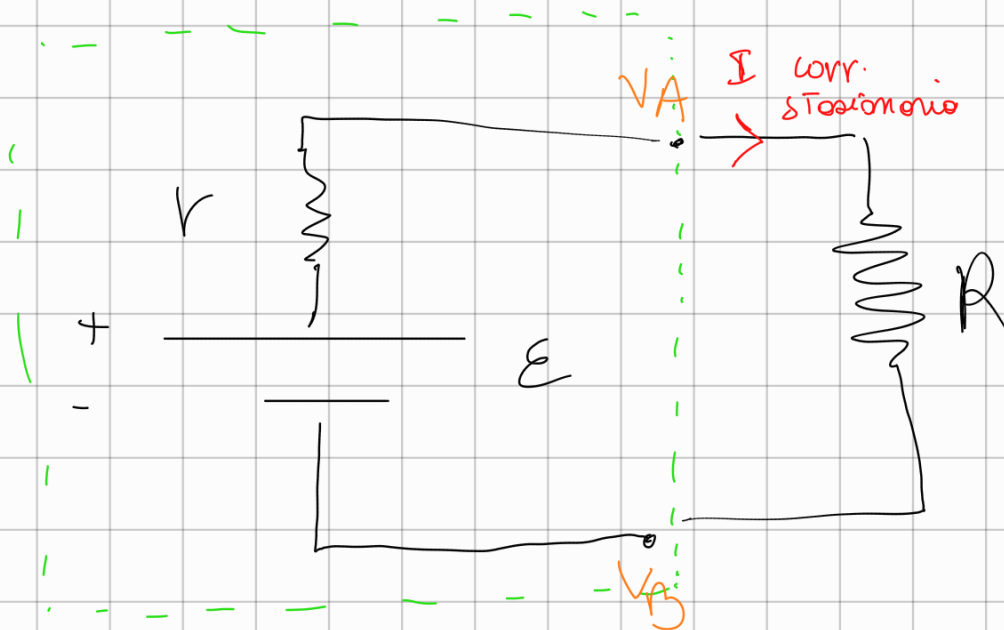
$$\frac{dL}{dt} = P = (V_A - V_B) I \quad \text{Potenza} [W] = [V \cdot A]$$

Potenza elettrica

Come si modifica la P in presenza di
un generatore di f.e.m.

Et per lavoro positivo spostare carica da V_B a V_A

Carico collegato
ai morsetti del
generatore



F.e.m. lavoro elementare che fa il
generatore per spostare una carica dal
polo a potenziale più basso al più alto

C'è una carica sempre costante che viene per tutto il circuito

E.F.e.m. si uguale del potenziale
 $\frac{dQ}{dt} = I$ carica
scolta in
dt

Lavoro del generatore $dL_g = \overset{\Delta V}{\epsilon} dQ = \epsilon I dt$
dip. a Moris. qual
 lavoro che fa la forza elettromotrice
 per spostare dQ da V basso a V alto in dt

Potenza elettrica fornita dal generatore $P_g = \frac{dL_g}{dt} = \epsilon I$
costante nel tempo

↓
 dove va a finire?
 usiamo ohm generalizzata

ohm generalizzata $\left[\epsilon = RI + rI \right]$
coltura di pot. esterna coltura di potenziale resist. interna

Bilancio Potere $P_g = RI^2 + rI^2$

Potenza erogata viene dissipata
 sulla resist. esterna e parte interna
 Parte viene prodotta sul carico per effetto Joule, parte si dissipa nella resistenza interna, il generatore si scalda

Non tutta la potenza fornita dal generatore viene utilizzata

• $P_g - rI^2 = RI^2$
Potenza usabile Potenza dissipabile = potenza che brucia -

$$\mathcal{E} = (R+r)I$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

$$P_g = \mathcal{E} I = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}$$

SOLLA RESIST.

$$\begin{aligned} P_R &= R I^2 \\ &= R \frac{\mathcal{E}^2}{(r+R)^2} \end{aligned}$$

massima potenza erogata da R quando lo
accoppiamento di RESISTENZA

$$\frac{\partial P_R}{\partial R} = \frac{\mathcal{E}^2 (r-R)}{(r+R)^3} = 0 \quad \text{quindi} \quad \boxed{R = r}$$

massima potenza erogata da un generatore, utilizzabile

è quando $R = r \Rightarrow$ pot. utile è metà

Se $R = r$

$$\boxed{P_R = R \frac{\mathcal{E}^2}{(R+r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{4R}}$$

DISTRIPATA METÀ su R, r

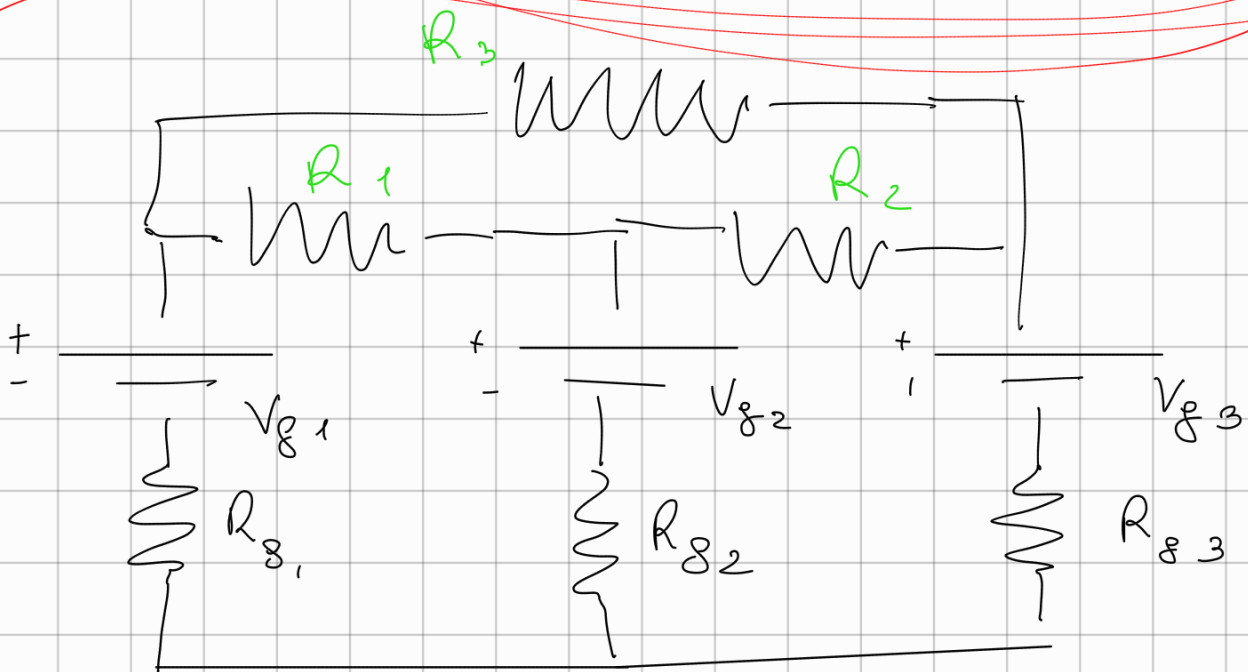
ADATTAMENTO DI RESISTENZA

— P_T interna dissipata

La **potenza** che riesce a fornire il generatore è massima se la resistenza interna è uguale alla resistenza esterna.

Se l'impedenza interna è uguale all'impedenza esterna.

e infatti si usano adattatori di impedenza. Così all'interno del generatore si dissipa il minor numero di potenza



$$V_{g1} = V_{g2} = 10 \text{ V}$$

$$V_{g3} = 30 \text{ V}$$

$$R_{g1} = R_{g2} = 10 \Omega$$

$$R_{g3} = 8 \Omega$$

Risolvere un
rete superficia
Sopra in ogni
punto tensione
e corrente

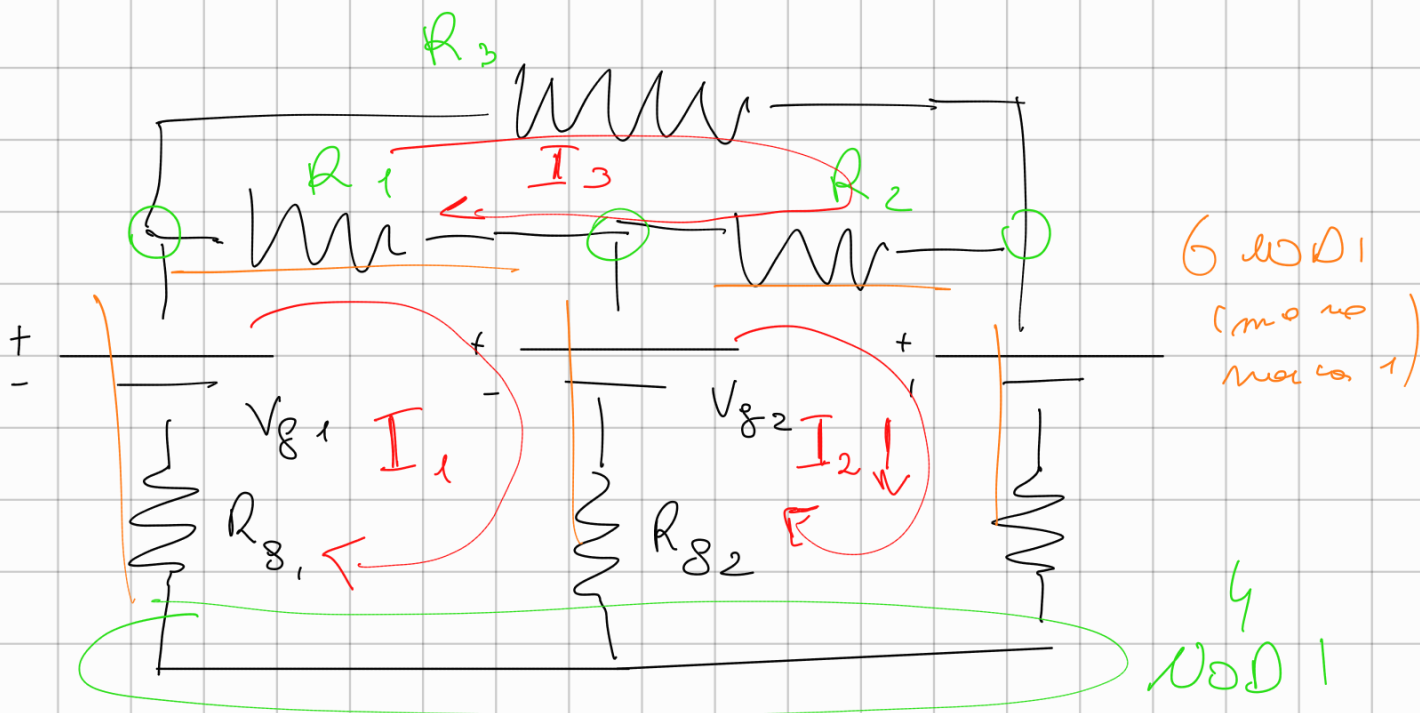
$$R_1 = 180 \, \Omega$$

$$R_2 = R_3 = 451 \, \Omega$$

Usando regola della maglia,
tanti circuiti quanti quante
sano le variabili indipendenti
Mai quindi alcun buco

eq. che ci serve = conto di nodi -
i nodi nel circuito
contato due volte

$$RA \, N_1 - N_{OD} + 1$$



$$6 - 4 + 1 = 3$$

devo trovare 3 circuiti chiusi
indipendenti

(1) qui vanno bene due linee
in un circuito chiuso (maglia)

(2) qui circuito chiuso allora devo un
vanno che non compaia ripetibili

I_c = corrente di maglia

Il verso orario o antiorario è convenzionale

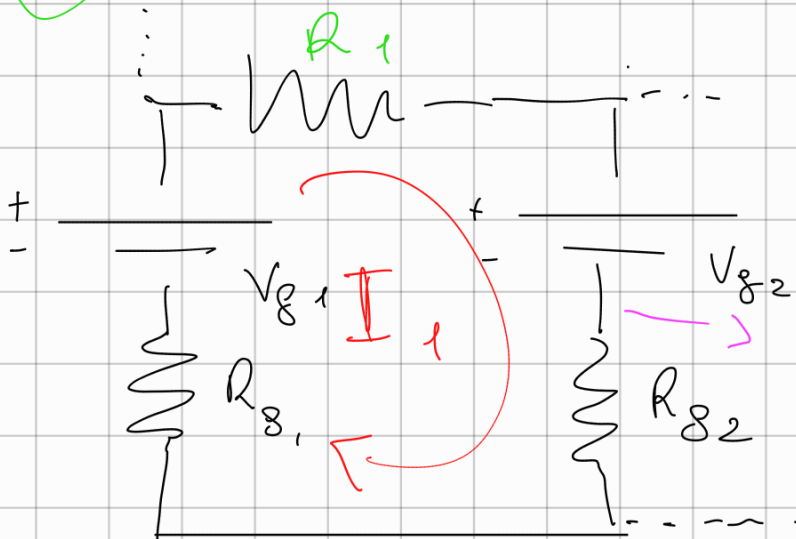
Applico ora leggi di Kirchhoff

(qui la 1^a)

Le somme di tensioni di tutto il
circuito $e' = 0$

R_3

(1)



qui la corrente e'

$$I_1 - I_2$$

o $I_2 - I_1$ in
base al segno

$$R_{g1} \bar{I}_1 - V_{g1} + R_1 (\bar{I}_1 - \bar{I}_3) + V_{g2} + R_{g2} (\bar{I}_1 - \bar{I}_2) = 0$$

(2)

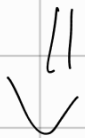
$$R_{g2} (\bar{I}_2 - \bar{I}_1) - V_{g2} + R_2 (\bar{I}_2 - \bar{I}_3) + V_{g3} + R_{g3} \bar{I}_2 = 0$$

(3)

$$R_3 \bar{I}_3 + R_2 (\bar{I}_3 - \bar{I}_2) + R_1 (\bar{I}_3 - \bar{I}_1) = 0$$

Sistema di eq. indipendenti, 3 incognite ($\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$)

e a destra vedendo i termini noti: V_{g1}, V_{g2}, V_{g3} .

//


$$\begin{cases} (R_{g1} + R_1 + R_{g2}) \bar{I}_1 - R_{g2} \bar{I}_2 - R_1 \bar{I}_3 = V_{g1} - V_{g2} \\ -R_{g2} \bar{I}_1 + (R_{g2} + R_2 + R_{g3}) \bar{I}_2 - R_2 \bar{I}_3 = V_{g2} - V_{g3} \\ -R_1 \bar{I}_1 - R_2 \bar{I}_2 + (R_1 + R_2 + R_3) \bar{I}_3 = 0 \end{cases}$$

eq. lineare 3eq. 3 incognite

$$\Rightarrow \begin{cases} 200 I_1 - 10 I_2 - 180 I_3 = 0 \\ -10 I_1 + 600 I_2 - 491 I_3 = -20 \\ -180 I_1 - 491 I_2 + 1162 I_3 = 0 \end{cases}$$

$$\textcircled{1} \quad I_1 = \frac{10 I_2 + 180 I_3}{200} = \frac{1}{20} I_2 + \frac{9}{10} I_3$$

$$\textcircled{3} = -180 \left(\frac{1}{20} I_2 + \frac{9}{10} I_3 \right) - 491 I_2 + 1162 I_3 = 0$$

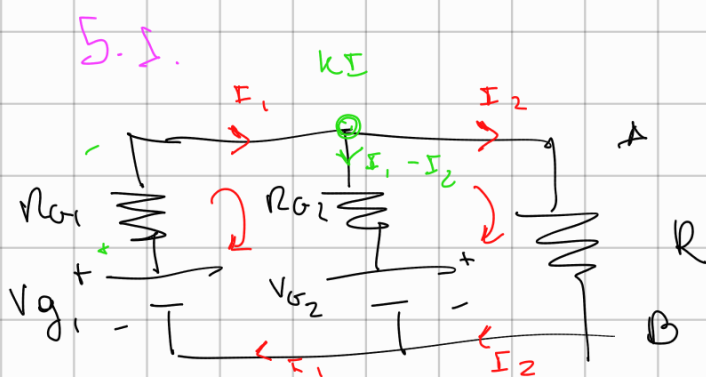
$$\Rightarrow I_2 = 2 I_3$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{1}{20} \cdot 2 I_3 + \frac{9}{10} I_3 = I_3$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow I_1 = 0,0286 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,0286 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,0572 \text{ A}$$



$$V_{AB} = 0 \quad V_{AB} = ?$$

Ke 2 Möglichkeiten

• Suppongo V uguale a somma corrente di maglie I_1, I_2 orientate

$$1) R_{G1} I_1 + R_{G2} (I_1 - I_2) + V_{G2} - V_{G1} = 0$$

$$2) R I_2 - V_{G2} - R_{G2} (I_1 - I_2) = 0$$

$$V_{AB} = R I_2$$

$$2) I_2 (R + R_{G2}) - I_1 R_{G2} = V_{G2}$$

$$1) (R_{G1} + R_{G2}) I_1 - R_{G2} I_2 = V_{G1} - V_{G2}$$

Matrice incognite

$$\begin{bmatrix} R_{G1} + R_{G2} & -R_{G2} \\ -R_{G2} & R + R_{G2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} V_{G1} - V_{G2} \\ V_{G2} \end{pmatrix}$$

es. con dati a lato

$$\begin{cases} 5 I_1 - 3 I_2 = -5 \text{ V} \\ -3 I_1 + 13 I_2 = 10 \end{cases}$$

$$I_2 = \frac{10 + 3 I_1}{13}$$

$$\left(5 + \frac{9}{13} \right) I_1 = 5 + \frac{30}{13}$$

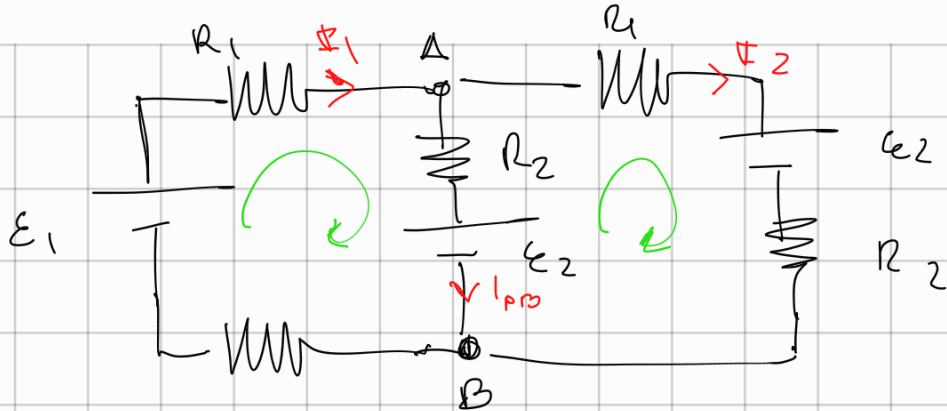
$$I_1 = \dots$$

$$I_2 = \dots$$

$$V_{AB} = I_2 R$$

altro es.

V_{AB} ? Pot Top simpl
 I_1, I_2, I_{AB} solo rev'd.



$$\varepsilon_1 = 3V \quad \varepsilon_2 = 6V$$

$$R_1 = 2\Omega \quad R_2 = 4\Omega$$

$$\bullet 2R_1 I_1 + R_2 (I_1 - I_2) - \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 0$$

$$\bullet (R_1 + R_2) I_2 + \cancel{\varepsilon_2} - \varepsilon_2 - R_2 (I_1 - I_2) = 0$$

$$4I_1 + 4I_1 - 4I_2 + 3 = 0$$

$$6I_2 + 4I_2 - 4I_1 = 0$$

$$10I_2 = 4I_1$$

$$I_1 = \frac{5}{2} I_2$$

$$-2I_1 = -3$$

$$I_1 = \frac{3}{2} A$$

$$I_2 = 3/5 A$$

$$= -\frac{15}{32}$$

$$I_2 = -3/16 A$$

CONTI ENTRA MA SU

$$\rightarrow I_{AB} = I_2 - I_1 = -0,28 A$$

$$I_2$$

$$I_1 = -0,46 A$$

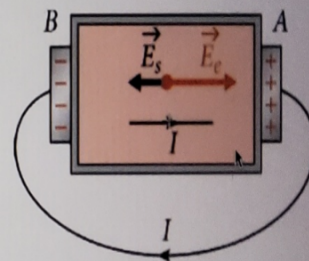
$$I_2 = -0,18 A$$

ALTRA EXTRA

$$V_{AB} = R_2 I_{A2} + \mathcal{E}_2 = 4,88 \text{ V}$$

Generatori di forza elettromotrice

- ✓ Le zone del generatore in cui vengono accumulate le cariche di segno opposto sono detti poli o morsetti o anche elettrodi.
- ✓ La forza elettromotrice (f.e.m.) **non** è una forza, ma il lavoro fatto dal campo **elettromotore** (non conservativo), per portare una carica positiva unitaria dentro il generatore dall'elettrodo (morsetto) negativo a quello positivo.
- ✓ L'unità di misura è ancora il Volt.
- ✓ Un generatore di f.e.m. aumenta l'energia potenziale elettrostatica delle cariche che lo attraversano, portandole verso il polo a potenziale maggiore (polo omonimo).
- ✓ Le cariche perdono l'energia potenziale elettrostatica nel circuito esterno muovendosi verso il polo a potenziale minore (polo eteronimo).
- ✓ Convertono energia non elettrica (chimica, meccanica, luminosa) in energia elettrica.



è una $d\phi P$

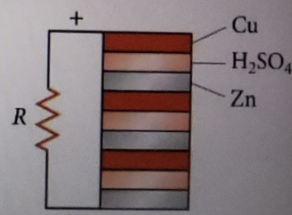
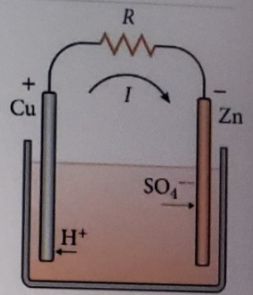
da $V_B \rightarrow V_A$

impingano energia

generatori f.e.m.
Da energia meccanica a elettrica

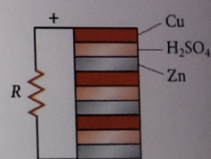
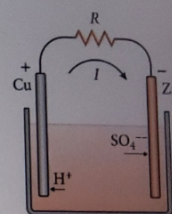
Pila di Volta (I)

- ✓ E' costituita da due elettrodi, uno di rame (Cu) e uno di zinco (Zn) immersi in una soluzione acquosa di acido solforico.
- ✓ Il primo esemplare costruito da Volta era in realtà costituito da una piccola colonna ("pila") di coppie di dischi Cu-Zn, separate da dischi di feltro imbevuti in soluzione acida.
- ✓ Per questioni di affinità elettrochimica, gli ioni SO_4^{2-} migrano verso l'elettrodo di zinco (catodo). Gli atomi di zinco passano in soluzione sotto forma di ioni Zn^{2+} formando una molecola di solfato di zinco $ZnSO_4$ e lasciando due elettroni sul catodo che si carica negativamente.
- ✓ A morsetti aperti il processo che però viene rapidamente bloccato dall'attrazione elettrostatica dell'elettrodo carico negativamente, ovvero dall'equilibrio tra un campo elettromotore e un campo elettrostatico (circa -0,76 V).
- ✓ Verso l'elettrodo di rame migrano gli ioni idrogeno H^+ . A questo elettrodo due elettroni passano a due ioni e si trasformano in idrogeno molecolare gassoso H_2 . L'elettrodo si carica positivamente cedendo elettroni e si forma idrogeno: anche qui si raggiunge subito l'equilibrio tra processo chimico e attrazione elettrostatica.
- ✓ A circuito aperto (cioè in assenza di resistenza R esterna) il processo elettrochimico si arresta quando, fra i due elettrodi si è stabilita una differenza di potenziale di circa 1 volt; questa rappresenta la forza elettromotrice della pila di Volta.



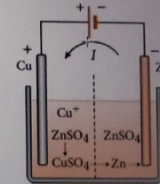
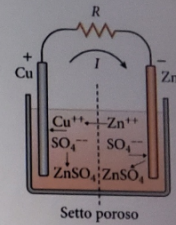
Pila di Volta (II)

- ✓ Quando si connette con un filo conduttore il rame allo zinco gli elettroni in eccesso sullo zinco passano al rame, il che corrisponde a un moto convenzionale di cariche positive dal rame allo zinco, e i processi chimici descritti possono avvenire con continuità.
- ✓ Il processo non si arrestare fino a che tutto l'acido solforico H_2SO_4 non si è trasformato in solfato di zinco, secondo la reazione $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$.
- ✓ In realtà la f.e.m. della pila di Volta diminuisce progressivamente a causa di un deterioramento dell'anodo di rame dovuto ad adsorbimento in esso di idrogeno (polarizzazione della pila).
- ✓ La forza elettromotrice della pila può essere riportata a questo punto al suo valore iniziale liberando l'anodo del suo strato superficiale inquinato da idrogeno.
- ✓ Nella pila di Volta l'energia necessaria a vincere la repulsione elettrostatica (gli ioni negativi migrano verso il catodo negativo; gli ioni positivi verso l'anodo positivo) si rende disponibile a spese di una diminuzione dell'energia chimica cioè dell'energia libera del sistema soluzione/elettrodi.
- ✓ Non è un processo reversibile applicando una d.d.p dall'esterno (non ricaricabile).



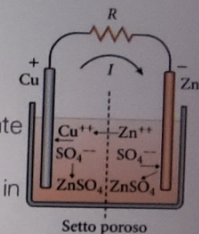
Pila "reversibile" di Daniell (1836)

- ✓ Pila di Daniell: i due elettrodi di rame e zinco sono immersi ciascuno in una cella elettrolitica, contenente rispettivamente CuSO_4 (solfato di rame) e ZnSO_4 (solfato di zinco); le celle sono separate da un setto poroso che permette il passaggio degli ioni, ma impedisce il mescolamento delle soluzioni.
- ✓ La reazione che ha luogo è sostanzialmente: $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$
- ✓ Quando questa reazione è completa (tutto il CuSO_4 si è trasformato in ZnSO_4), la pila è scarica.
- ✓ Se alimentando la pila con un opportuno generatore si fa passare in essa una corrente in senso **inverso**, la reazione precedente procede in senso inverso ($\text{ZnSO}_4 + \text{Cu} \rightarrow \text{Zn} + \text{CuSO}_4$) e la pila si ricarica.



Accumulatori

- ✓ Una pila reversibile è detta anche **accumulatore** di energia elettrica.
- ✓ Altri esempi sono gli accumulatori al **piombo-acido** e gli accumulatori agli **ioni di litio**.
- ✓ Mettendo in serie più accumulatori si ottiene una **batteria** di accumulatori.
- ✓ La **capacità di carica** di una batteria è la carica in essa contenuta quando è completamente carica.
- ✓ Si misura in coulomb nel sistema SI, anche se commercialmente è d'uso indicarla in amperora.
- ✓ 1 ampereora = $1\text{ A} \times 3600\text{ sec} = 3600\text{ C}$



Es. Battery bank

- ✓ La capacità di carica si misura in coulomb nel sistema SI, anche se commercialmente è d'uso indicarla in amperora.
- ✓ 1 ampereora = $1\text{ A} \times 3600\text{ sec} = 3600\text{ C}$

Battery bank 10000mAh di capacità, $Q = 10 \times 3600 = 36000\text{ Coulomb}$.

I battery bank hanno celle agli ioni di litio la cui f.e.m. nominale è 3.7 V. L'energia immagazzinata ed erogabile sarà quindi $U = VIt = 3.7 \times 10 = 37\text{ Wattora}$. C'è da considerare una efficienza intorno al 90-95%.

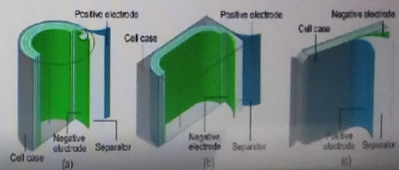
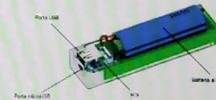
La porta di uscita è una porta USB-B da con valore di f.e.m. nominale di 5 V.

C'è una massima corrente erogabile e valori tipici sono ($I_{\text{max}} = 0.5; 1; 2; 3\text{ A}$).

Se consideriamo $I_{\text{max}} = 3\text{ A}$ la potenza elettrica sarà quindi $P = 5 \times 3 = 15\text{ W}$. In un ora 15 Wh. (La massima potenza è $12 \times 1.5 = 18\text{ W}$). Poiché l'energia immagazzinata è 37 Wh il dispositivo può funzionare per $37/15$ circa 2h e 27 min.

Se la batteria di uno smartphone di 3000mAh è completamente scarica, quanto tempo ci vuole a ricaricarla con questo power bank?

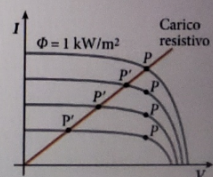
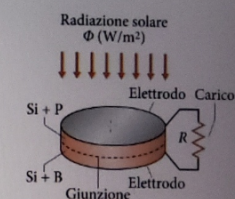
Se la massima corrente in ingresso per lo smartphone è ad esempio 2 A in una ora si riuscirà a fornire 2000mAh (se $I_{\text{max}} > 2\text{ A}$) per cui ci vorrà 1h e 30 min.



ALBERTO TOCCAFONDI

Cella fotovoltaica

- ✓ Elettrogeneratore con grandi prospettive di impiego è la cella fotovoltaica.
- ✓ Normalmente utilizzata per convertire in energia elettrica l'energia luminosa trasportata dalla radiazione solare.
- ✓ La più comune e la più affidabile delle celle solari è la cella al silicio, formata da un disco il cui spessore è una frazione di millimetro, costituito da due strati ("wafer") di silicio cristallino opportunamente "drogati" (cioè contenenti, in opportune percentuali, impurità di due diversi elementi chimici, ad esempio boro B e fosforo P).
- ✓ I due strati essendo separati da un'interfaccia ("giunzione") parallela alle facce del disco.
- ✓ Quando la cella è colpita dalla radiazione solare (misurata dall'intensità Φ espressa in W/m^2 e rappresentante l'energia per unità di tempo e per unità di area disposta ortogonalmente ai raggi), fra i due elettrodi chiusi sul carico R si eroga una certa potenza elettrica W proporzionale all'intensità Φ e dipendente dalle caratteristiche del carico.



ALBERTO TOCCAFONDI

EXTN D

LAU 4 DIC

Frequenze

quasi stazionari

Conservazione carica el.

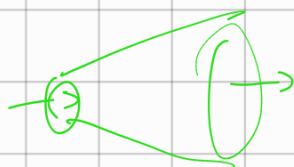
Forza di campo $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

$$\nabla \cdot \underline{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \cdot \underline{j} = 0 \quad \text{div. } \underline{j} = 0$$

es. può essere

conservazione carica
= con. uscente



e da qui legge Kirchhoff, ohm, in conduttività.

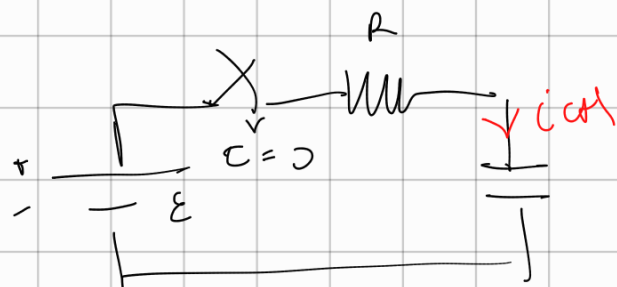
condit. quasi stazionari quasi

VELOCITA' con cui le cariche si muovono?

NEI CIRCUITI E' molto più grande della velocità della propagazione.

es. nastro conduttore C con resistenza per ideale

collegato a un generatore e a un carico C. scarico



$V_C = 0$ ho un C.C., campo elettrico costante "sotto carica positiva" del polo positivo all'altro.

Su C si accumulano cariche, $V_C > 0$ avvenute

succedute velocemente, uso campo C.P.S. STATIONARIO

→ suppongo come $i(t)$, $V(t) = R i(t)$

$$\rightarrow R i(t) + V_C(t) - E = 0$$

sta avvenendo carica C.

carica conduttore avviene di dq che è posta nel condensatore e genera il campo.

ho applicato 2° Kirchhoff.
in condit. quasi staz.

$$\frac{dq}{dt} = i(t)$$

$$V_C(t) = \frac{Q(t)}{C}$$

per il condensatore vale

• e auch exp. diff & wieder sep.

alle ipoten de le perios. man pi
wobei alle wos. in v, i, dq

$$C \frac{R dQ}{dt} = \cancel{C} \varepsilon - \frac{Q(t)}{\cancel{C}} \Rightarrow -RC \frac{dQ}{dt} = Q(t) - C\varepsilon$$

$$\frac{dQ(t)}{Q(t) - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} \quad \text{integro in } t=0, Q(t_0)=0$$

$$\int_0^{Q(t)} \frac{dQ'}{Q' - C\varepsilon} = - \int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

$$f = Q' - C\varepsilon \quad Q' = 0 \Rightarrow -C\varepsilon$$

$$df = dQ' \quad Q' = Q \Rightarrow Q - C\varepsilon$$

$$= \int_{-C\varepsilon}^{Q - C\varepsilon} \frac{df'}{f'} = - \int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

$$= \ln \frac{Q(t) - C\varepsilon}{-C\varepsilon} = -\frac{t}{RC}$$

$$\frac{Q(t) - C\varepsilon}{-C\varepsilon} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\left[Q(t) = C\varepsilon \left[1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right] \right] \quad \text{wobei } Q(t) \text{ ist Ladungszahl}$$

$$RC = \Omega \frac{C}{V} = \frac{C}{A} = \frac{C}{\frac{C}{s}} = s$$

RC [seconds] = constant of
time

$$\tau = RC$$

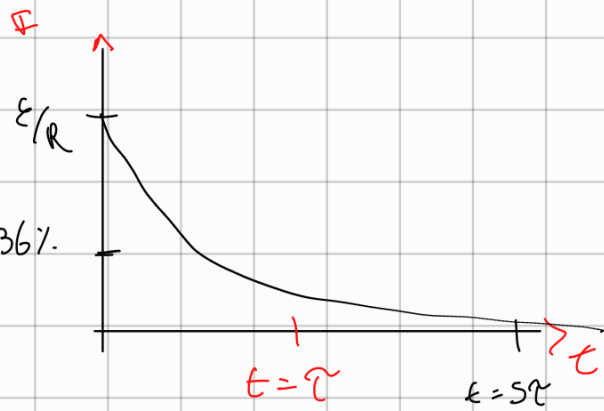
$$Q(t) = C\varepsilon \left[1 - e^{-t/\tau} \right]$$

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = -C\varepsilon e^{-t/\tau} \left[-\frac{1}{\tau} \right] = \frac{C\varepsilon}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/\tau}$$

exp abnimmt

$$i(0) = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad \text{corrente iniziale}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{R} \quad \text{corrente con } C \text{ capacitance}$$

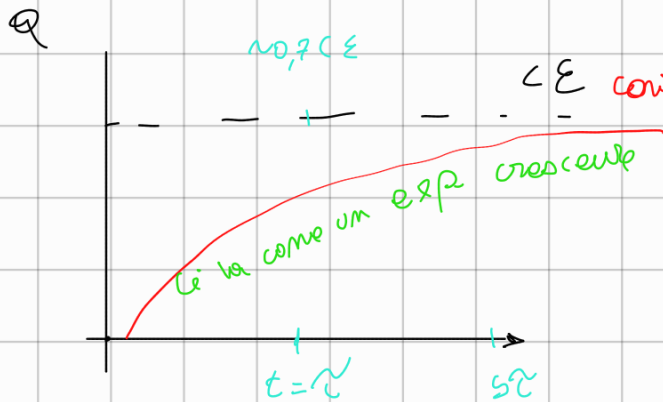


in τ la corrente si riduce del quasi 70%.

$$t = 5\tau \quad 0,06\%$$

Dopo 5τ si è esaurito il transitorio

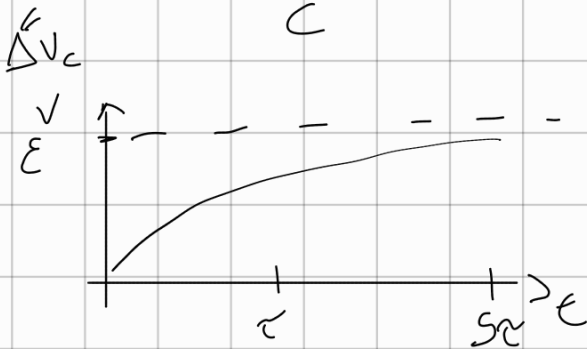
$$\frac{C}{RE}$$



quantità di carica totale su C
carica finale $t \rightarrow \infty$

τ costante di tempo
ci vogliono circa 5τ per
caricare il condensatore

$$V_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = \mathcal{E} [1 - e^{-t/\tau}]$$



consist. energetico per far carico

$$W = \mathcal{E} Q$$

$$Q_{TOT} SPASTATA = Q_0$$

$$W_{TOT} = Q_0 \mathcal{E} = C \mathcal{E}^2 \quad [J]$$

energia immag. condensatore
Nouvo

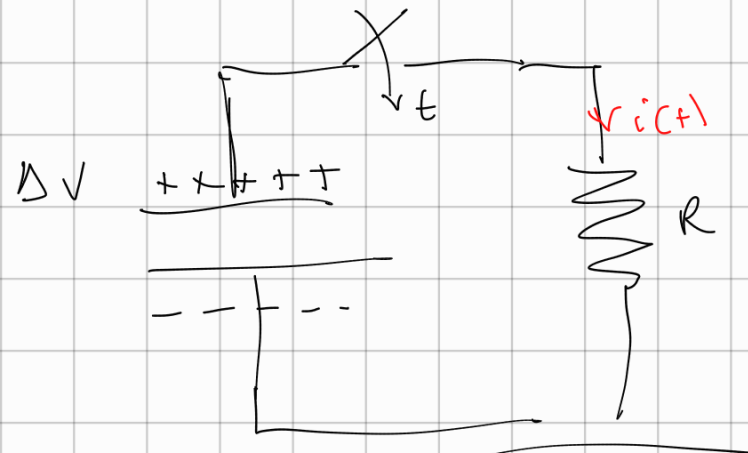
$$U = \frac{1}{2} C \Delta V^2 = \frac{1}{2} C \mathcal{E}^2$$

Fine processo
solo in condiz.
STE

$\Rightarrow$ Ho solo CE^2 per corrente condotta di Q_0 , ma ne ho immagazzinato solo $V = \frac{1}{2} CE^2$
 ('ALTRA META' SI E' DISSIPATA NELLA RESISTENZA R)

• SCARICA DI C SU R

Condensatore opera come pila di carica + addosso R verso ell' altro Terminale -



• Rinnovo carica sul condensatore

$$i(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$$

su R

$$V_C(t) = R i(t)$$

$$\frac{Q(t)}{C} = -R \frac{dQ}{dt}$$

$$\text{da } t_0 \rightarrow t$$

$$\Rightarrow \frac{dQ}{Q(t)} = - \frac{dt}{RC} = - \frac{dt}{\tau}$$

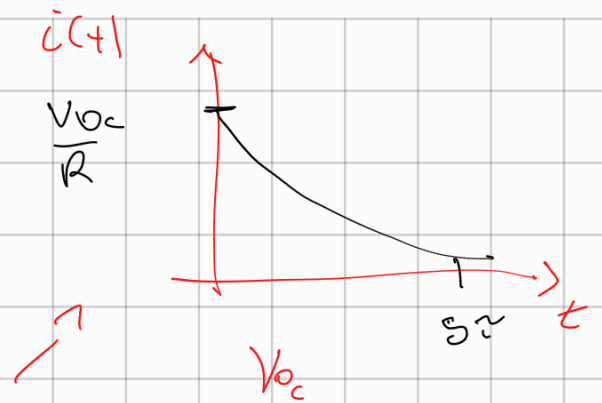
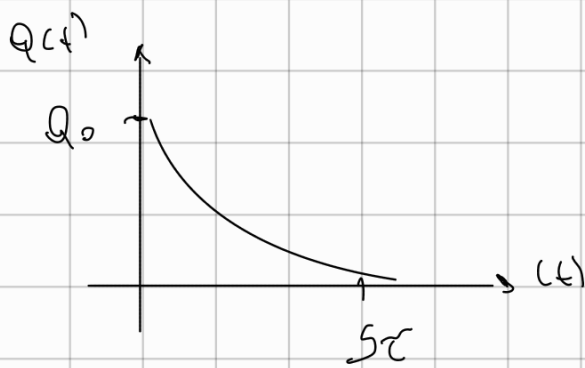
cost di tempo

$$\int_{Q_0}^{Q(t)} \frac{dQ}{Q(t)} = - \int_0^t \frac{dt}{RC}$$

$$\ln \left(\frac{Q(t)}{Q_0} \right) = - \frac{t}{\tau} \Rightarrow$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}$$

<



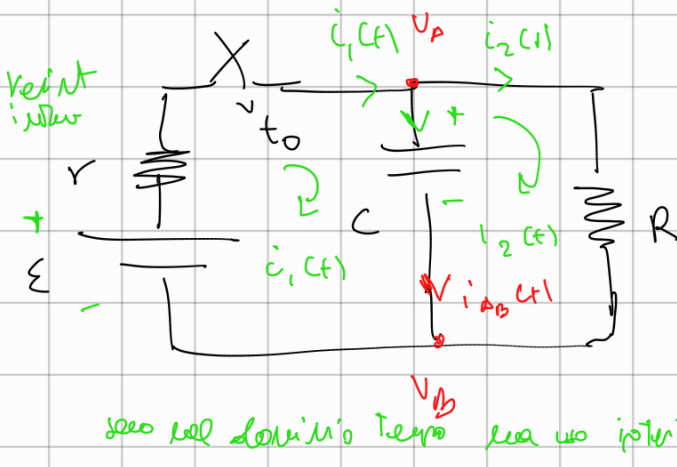
$$i(t) = -Q_0 e^{-t/\tau} \left(-\frac{1}{\tau}\right) = \frac{Q_0}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/\tau}$$

$$i(t) = \frac{V_{oc}}{R} e^{-t/\tau}$$

$\downarrow$
 V_c

$$V_c(t) = V_0 e^{-t/\tau}$$

va tutto più exp



$$t=0 \quad Q_0 = Q(t_0)$$

o so 2 Kirchhoff apply

$$V_{AB} = V_c(t)$$

$$\textcircled{1} \cdot r i_1(t) + V_c(t) - \mathcal{E} = 0$$

$$\textcircled{2} \cdot R i_2(t) - V_c(t) = 0 \Rightarrow V_c(t) = R i_2(t)$$

$\bullet i_{AB}(t)$ scende sul condensatore, avendo unica d. d. q

$$i_{AB}(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = i_1(t) - i_2(t)$$

$$i_1(t) = i_2(t) + \frac{dQ(t)}{dt}$$

$$V_C(t) = \frac{Q(t)}{C}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow r \left[i_2(t) + \frac{dQ(t)}{dt} \right] + \frac{Q(t)}{C} - \mathcal{E} = 0$$

$$i_2(t) = \frac{V_C}{R} = \frac{Q(t)}{RC}$$

$$r \frac{Q(t)}{RC} + r \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{C} - \mathcal{E} = 0$$

$$r \frac{dQ(t)}{dt} = \left(\mathcal{E} - \left[1 + \frac{r}{R} \right] \frac{Q(t)}{C} \right)$$

$$-rc \frac{dQ}{dt} = Q(t) \underbrace{\left[1 + \frac{r}{R} \right]}_A - C \mathcal{E}$$

$$\frac{dQ(t)}{A Q(t) - C_3} = - \frac{dt}{RC}$$

$$Q(t) = \frac{C \mathcal{E}}{A} \left[1 - e^{-t/\tau} \right]$$

$\tau = RC$
 costante di
 tempo del
 condensatore