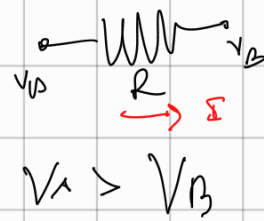
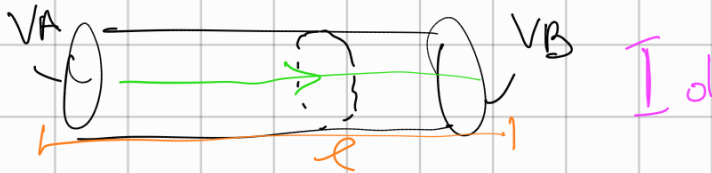


In Condizioni stazionarie



$$\Delta V = V_A - V_B$$

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

lunghezza
sezione

$$I = |I| S$$

$$= \int_S \underline{j} \cdot \underline{n} dS$$

$$\Delta V = RI$$

caduta potenziale sulla
lunghezza d'ohm

esempio Sezione Circolare, filo di rame

$$l = 200 \text{ m} \quad d = 2,5 \text{ mm}$$

$$I = 25 \text{ A} \quad \text{massima corrente che può sopportare}$$

$$\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

Resistività

$$R = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 200}{\pi \left(\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2} \approx 0,7 \Omega$$

Sezione è πr^2

$$S = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

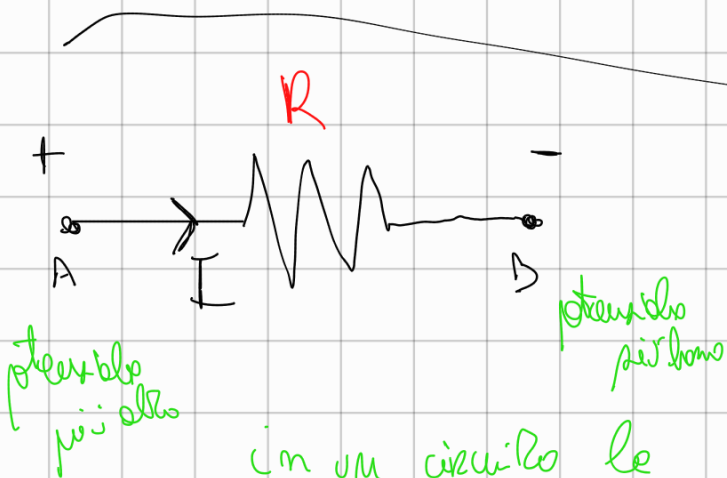
$$\Delta V = 0,7 \cdot 25 \approx 17,35 \text{ V}$$

$$P_{oh} = RI^2 = 0,7 \cdot (25)^2 = 437,5 \text{ W}$$

$$I = |I| S = 5,1 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad \text{2 cost}$$

$$|E| = \frac{I}{S} \quad \rightarrow$$

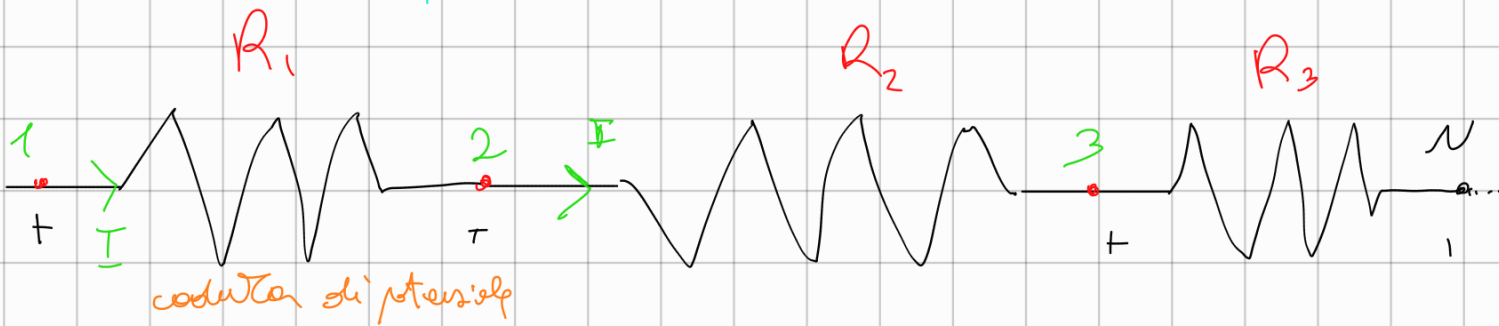
$$\Delta V = |E| l \Rightarrow |E| = \frac{17,35 \text{ V}}{200 \text{ m}} \approx 0,087 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$



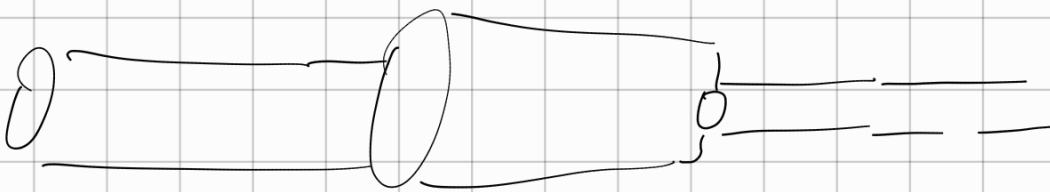
$$\Delta V = V_A - V_B = R I$$

in un circuito le resistenze possono essere combinate tra loro

RESISTENZE IN SERIE



come collegare conduttori con resistenze diverse e lo stesso diverso



Scriviamo legge di Ohm usando resistenza in serie

$$V_1 - V_2 = R_1 I$$

conduttori di potenziale

ottenute dalla stessa corrente, sono in serie

$$V_2 - V_3 = R_2 I$$

⋮

$$V_N - V_{N+1} = R_N I$$

$$V_1 - \cancel{V_2} + \cancel{V_2} - \cancel{V_3} + \cancel{V_3} \dots - V_{N+1} = V_1 - V_{N+1} =$$

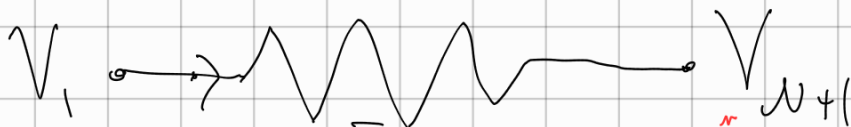
$$= R_1 I + R_2 I + \dots + R_N I =$$

$$= (R_1 + R_2 + \dots + R_N) I$$

quindi e' come se

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

=>



$$\text{Unica RESIST } R_{TOT} = \sum_{i=1}^N R_i$$

equivalente ad una resistenza la cui somma e' uguale alla somma delle resistenze

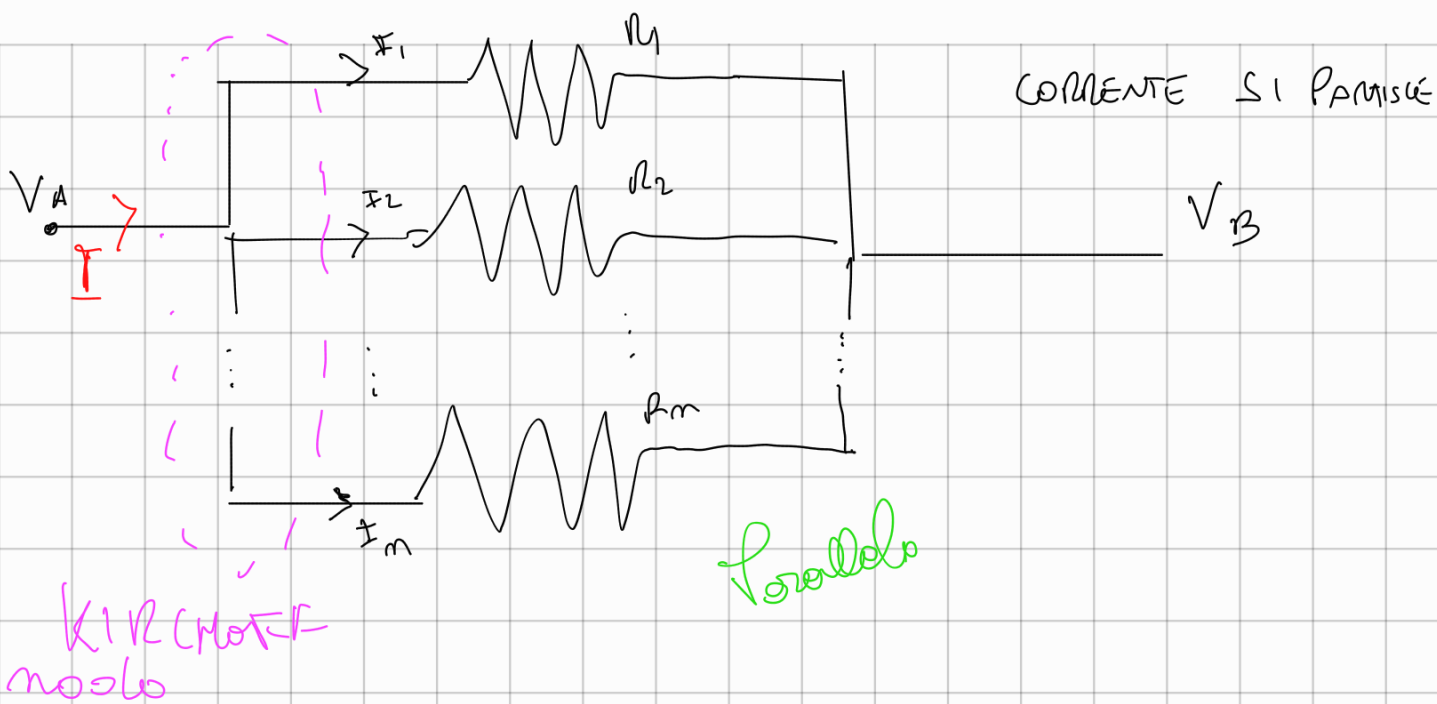
$$P_{diss} = R_{TOT} I^2 = R_1 I^2 + R_2 I^2 + \dots + R_N I^2$$

potenza totale dissipata = potenza dissipata da una singola resistenza.

POT. TOTALE DISSIPATA
per effetto Joule

RESISTENZE IN PARALLELO

condizione ideale, resistenza nulla, no proibizione di potenza, quindi es. tipo R_1 fino a V_B , idealmente sono pensate



$$I_1 + I_2 + \dots + I_n - I = 0$$

legge di Ohm per
le singole resistenze

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I$$

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}$$

$$I_n = \frac{\Delta V}{R_n}$$

$$\Rightarrow I_1 + I_2 + \dots + I_n = I = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} + \dots + \frac{\Delta V}{R_n} =$$

$$= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \Delta V$$

$$\Rightarrow I = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \Delta V$$

$$\Delta V = \left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}} \right) I$$

Stessa
Tensione
ai terminali

2 R in parallelo $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{TOT}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

$$P_{OT} = \frac{(\Delta V)^2}{R_{TOT}} = R_{TOT} I^2 \quad \Delta V = R \cdot I$$

$$\Rightarrow I = \frac{\Delta V}{R}$$

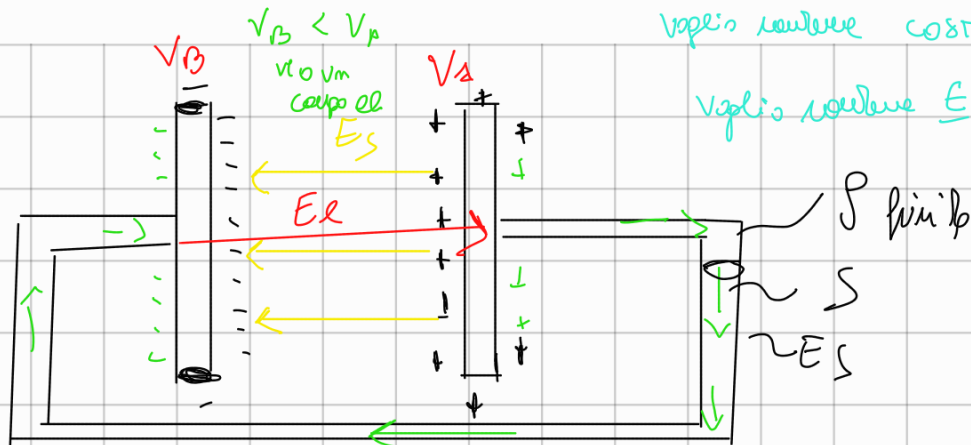
$$= \frac{\Delta V^2}{R_1} + \frac{\Delta V^2}{R_2} + \dots + \frac{\Delta V^2}{R_N}$$

Pot dissipate dalle singole resistenze

Resistenza in parallelo e' una unica resistenza
la cui resistenza in R e' la somma dei
reciproci delle singole
resistenze

GENERATORE DI F.E.M.

Siano in condizioni stazionarie ma
non si e' equilibrato, per mantenere
flusso di corrente costante, serve
perci una macchina che sposta
la carica intorno conduttore flusso



$V_B < V_A$
 v_{drift} campo el
 E_S
 E_L
 I
 P perim
 S
 LE

Oltro in si q
 che per rendere
 costante, devo avere
 una ΔV pari a RI

senza $\vec{E}$ che porta i cariche al rot. più alto

$$V_A - V_B = RI$$

$\vec{E}$ campo elettromotoric

resistenza totale
del conduttore

collego conduttore
avrei un $\vec{E}$ così
nel conduttore, avrò
una corrente

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

10^{-15} sec
 sono all'equilibrio dello
 carica con $\vec{E} = 0$

Qui però ho anche un campo elettrostatico
e il conduttore è una regione equipotenziale

WATSON CIRCULAR

$$\oint \vec{E}_S \cdot d\vec{l} = 0$$

Dobbiamo trovare qualcosa che renda
 le forze del campo spostare le cariche
 da V_B^- a V_A^+ , SENZA LA FORZA

Quindi se faccio la circuitazione del campo
elettrostatico tutto intorno è $= 0$

quindi devo ipotizzare l'esistenza di un
campo (elettromotore) dato da forza non
conservativa, la circuitazione del
campo elettrico totale è...

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = RI$$

$$= \int_A^B \vec{E}_S \cdot d\vec{l} + \int_B^A (\vec{E}_S + \vec{E}_L) \cdot d\vec{l} =$$

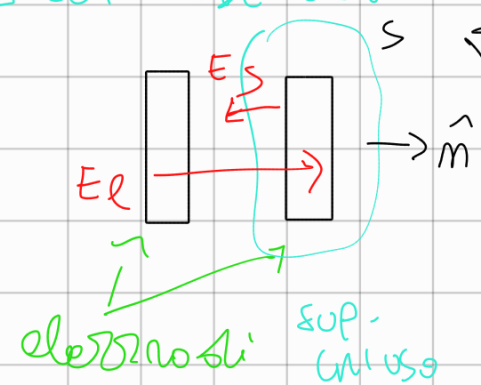
campo in
 2 parti

sappiamo che
 la quantità di
 carica in uscita cost
 su un elettrodo

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \Rightarrow \vec{J} \text{ costante}$$

il lavoro è compiuto da due
 parti, il primo parte del campo elettrostatico,
 da V_A a V_B , e l'altro che

da VIDEOLET



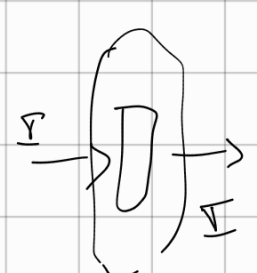
$$\nabla \cdot \underline{z}(r) + \frac{\partial \rho(r,t)}{\partial t} = 0$$

$$\Rightarrow \nabla \cdot \underline{z}(r) = 0$$

$$\iiint_V \nabla \cdot \underline{z}(r) dV = 0 = \oint_S \underline{z}(r) \cdot \hat{n} dS$$

Teo
DIV sulla sup chiusa

deve essere nulla ρ
se carica Q , deve essere Q , ρ costante



I che entra, I esce

lungo la linea chiusa c'è una RESIST.

AVENDO RESIST. INTERNA $\neq$ EST. DEL CONDUTT

R est r interna alla bobina C'è solo la STESSA $cm.$

$$\Rightarrow \oint (E_r + E_s) \cdot d\underline{e} = (R + r) I$$

lungo la bobina

solo la
=> $\oint E_s \cdot d\underline{e} + \oint E_r \cdot d\underline{e} = (r + R) I \neq 0$

non
conduttore
||
0
campo
elettrico
conservativo

non solo dove campo $E_r \neq 0$, NON
NFC CONDUTT
ma dov'è per
dove è!

perché $E \Rightarrow$ è un $d\phi$, è un lavoro

$$\Rightarrow \int_B^A E_r \cdot d\underline{e} = (R + r) I$$

CIRCUITO $\neq 0$

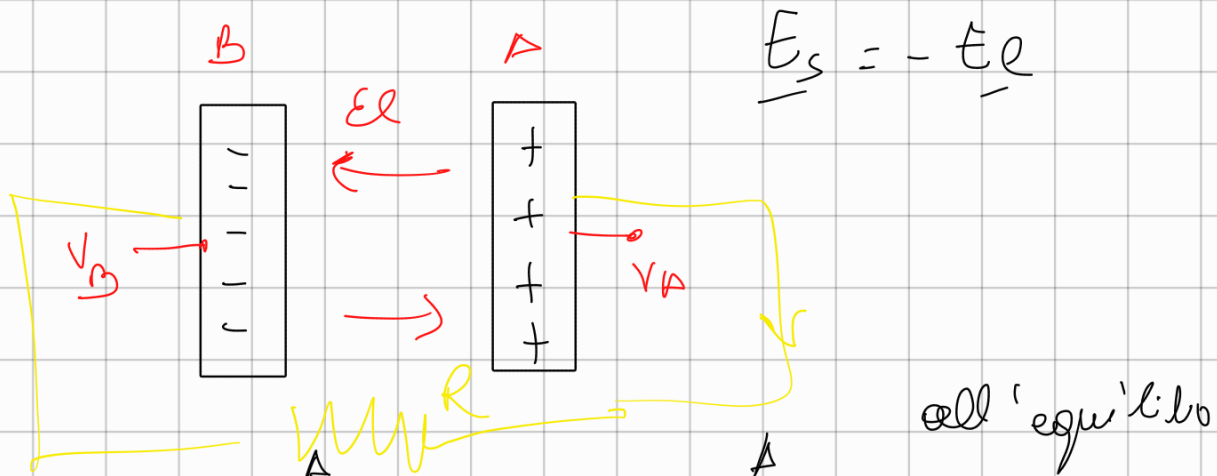
hanno che
ha CAMPO ELETTROMOTORE per motore chiuso da B ad A CIRCUITO $\neq 0$

CAMPO ELETTROMOTORE
NON È CONSERVATIVO

Generatore per trasforma lavoro in corpo elettrostatico

Ma non c'è accumulazione perché corpo elettrostatico serve più fonte
finché non sono in equilibrio

$E_e = E_s \dots$ equilibrio non c'è più accumulo di cariche



$$\mathcal{E} = \int_B^A \underline{E}_e \cdot d\underline{e} = - \int_B^A \underline{E}_s \cdot d\underline{e} = V_A - V_B$$

DDP ai capi di un generatore quando

è scollegato (a vuoto, non erogando corrente)

= FEM del generatore

$$\mathcal{E} = \dots = (R + r) I \neq 0$$

$\mathcal{E} = V_A - V_B$ a vuoto ... collegato un filo conduttore
con resistenza R , scorre I

$$\Rightarrow V_A - V_B = R I$$

come se scorse più cariche +
e scorse ... si allora di più

la carica totale ... E_s si allunga, $E_l > E_s$
 e il corpo E_l sprigiona onde da B ad A e.c. come I
 anche nel generatore

Sono

$$\Rightarrow E = RI + rI = V_A - V_B + VI$$

CONNESSO

caduta
pot. interna
al polo

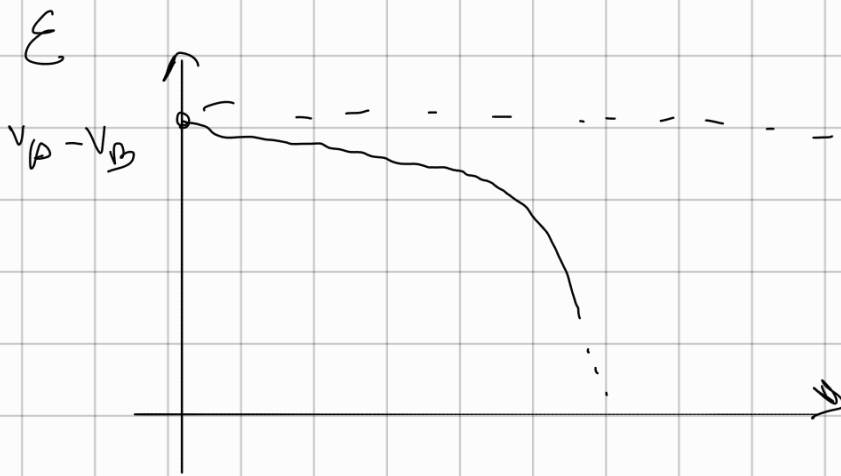
$$V_A - V_B = E - rI$$

giusto in generatore
 e' come un estremo
 di una resistenza

La ddp ai MORSETTI
 E' quella a vuoto -

caduta internamente
 tra ~~due~~ vert + interne

DDP diminuisce



LEGGE OHM GENERALIZZATA
 (in presenza di generatori di f.e.m.)
 che fornisce potenza al circuito

Generatore NEGLIE DDP ai MORSETTI DIPENDENTE
 dalla corrente erogata

↓

$$V_A - V_B = RI$$

ddp ai capi della resistenza

$$V_A - V_B = E - rI$$

↑ internamente

ddp rispetto alla f.e.m. del generatore e
 per una resist. interna

$$E - RI = RI$$

Per che V_B a V_A che non può fare il
campo elettrostatico

$$= \oint \underline{E}_s \cdot d\underline{l} + \int_B^A \underline{E}_e \cdot d\underline{l} = RI$$

" per definizione

FORZA ELETTROMOTRICE

$$\Rightarrow \int_B^A \underline{E}_e \cdot d\underline{l} = RI \quad \forall \text{ f.e.m.} = RI$$

Lavoro che compie il campo elettrostatico
per portare una carica dal potenziale

più basso a quello più alto,

Campo non conservativo

Generazione = Trasferisce lavoro (energia), grazie
di fem

le cariche

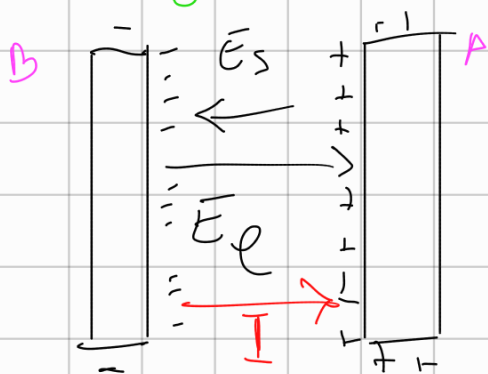
TRASFORMA LAVORO IN FEM

Ma non le si accumulano perché con elettrostatico se ne può fare

finché non sono in equilibrio

Energia chimica negli accumulatori

$E_e = E_s \dots$ equilibrio



Finché il campo elettrostatico
è minore del campo
elettromotore, il processo
continua. Se invece

$\mathcal{E} \leq$ il campo elettrico?
non riesce a spostare nessuna
carica.

Quanto non c'è
mente collegato, noi
misuriamo

$$V_A - V_B = \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_B^A -(\vec{E} \cdot d\vec{l}) = \mathcal{E}$$

e' indifferente del cammino
scelto

la chiamano
così

Forza elettromotrice a vuoto

Se collego un conduttore,
la d.d.p. e il campo elettrostatico
all'interno si annulla un
po' e quindi inizia il ruolo di
cariche negative verso il polo
positivo.

in V_A produce un po' di positive, in V_B genera un po'

La tensione sotto carico è un po' più piccola
di quella elettromotrice.
di quanto vale?

$$V_A - V_B = \mathcal{E} \text{ a vuoto}$$

con carico,

$$\hookrightarrow V_A - V_B = \mathcal{E} - r I$$

resistenza interna
del generatore

Usiamo ancora legge di Kirchhoff, se la
 quantità di carica nell'anello rimane la stessa
 nel tempo (in condiz. stazionarie)
 per un certo verso di rotazione
 di carica esce dalla superficie, e' uguale
 gli Ienni che entrano.

Il campo elettromotore genera
 una quantità di carica spinti alla
 corrente.

Deduco che il generatore abbia
 una resistenza interna che
 si oppone al passaggio delle cariche

* quindi valore più basso di campo
 elettromotore e' dato dalla caduta
 di tensione a causa della resistenza
 interna.

Ma all'esterno $V_A - V_B = RI$

quindi, in presenza di un generatore
 di F.e.m.

$V_P - V_M =$

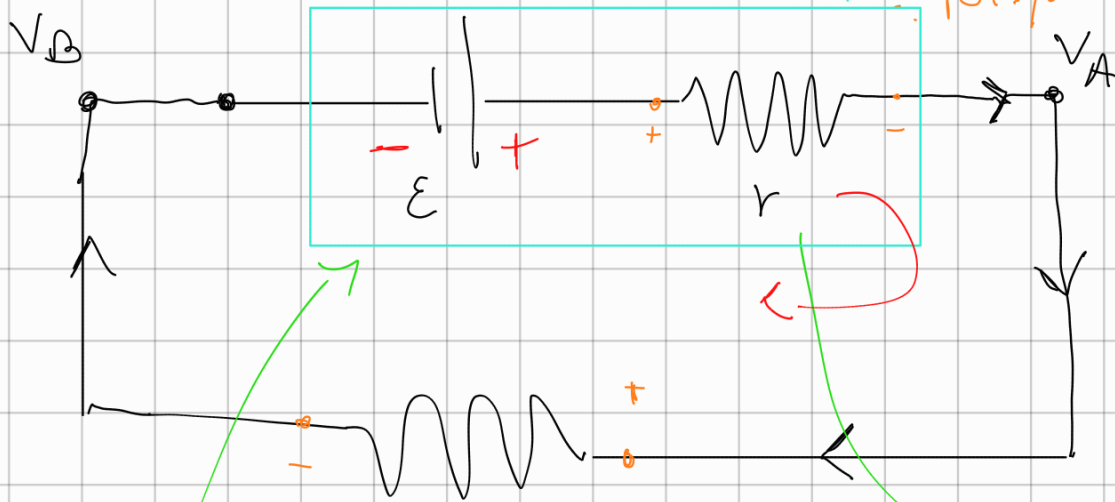
$$RI = \underbrace{\mathcal{E} - rI}_{V_A - V_B}$$

legge di
 Ohm
 generalizzata

Generatore posso modellarlo ad un generatore ideale
 con resistenza interna

Generatore di F.E.M.

Pot. più basso



È il massimo
della costante
INDIP. da
quantità corrente
circola

generatore ideale

> variazioni interne
del gen.
di far che causi
perdite di tensione

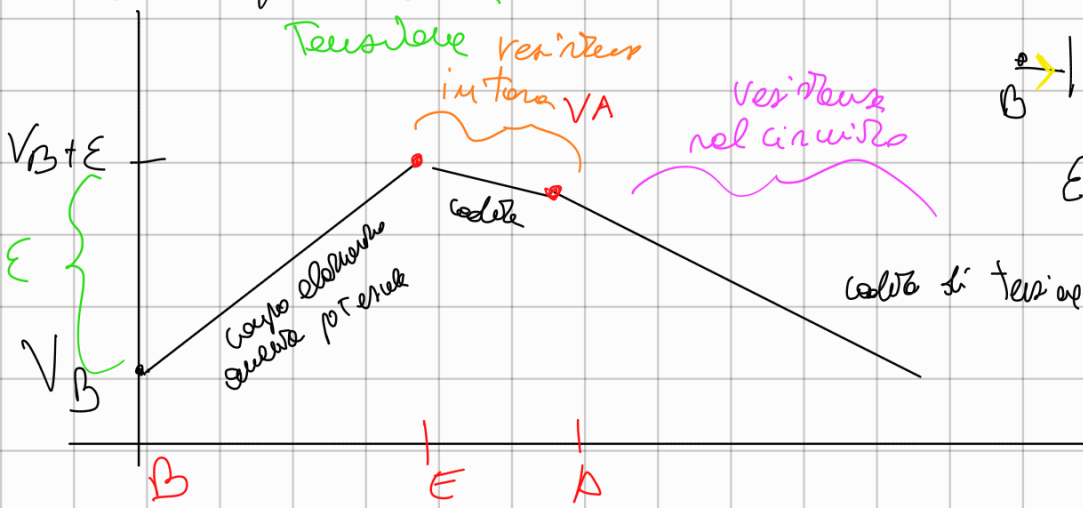
$$RI - \epsilon + rI = 0$$

legge circuitos. corpo elettrico

Se parto da V_A , e faccio un
circuitos. ritorno a V_A con lavoro
nullo.

Se $\exists$ caduta di potenziale $\sum U = 0$
senza algebriche delle cadute di tensione,
se $+$ a $-$ segno positivo, se $-$ a $+$
segno negativo

generatore aperto



$$V_B - V_A = V_B - V_E + V_E - V_A$$

$$= -\epsilon + rI$$

caduta di potenziale
solo verso corrente

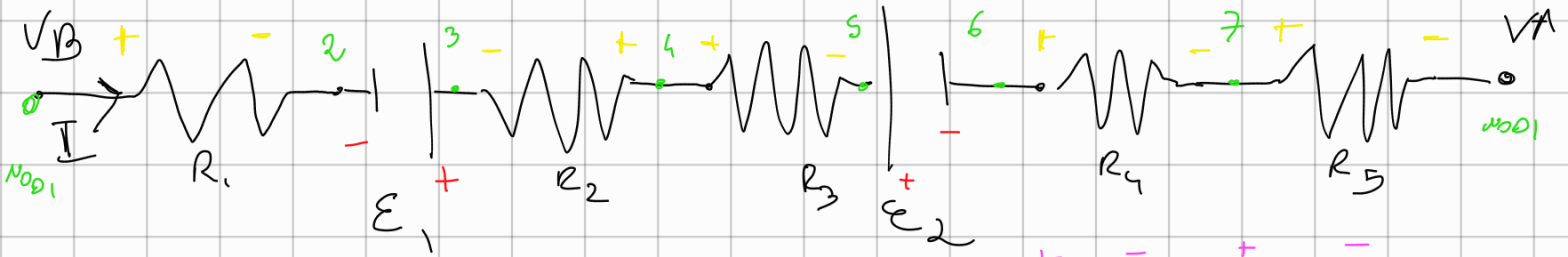
2 PONTI

B - | | - W -> A

ddp totale?

Più generatori e resistenze interconnesse?

Raccontare un circuito



Come se
per le poste

$$V_B - V_A = R_1 I - E_1 + R_2 I + R_3 I + E_2 + R_4 I + R_5 I$$

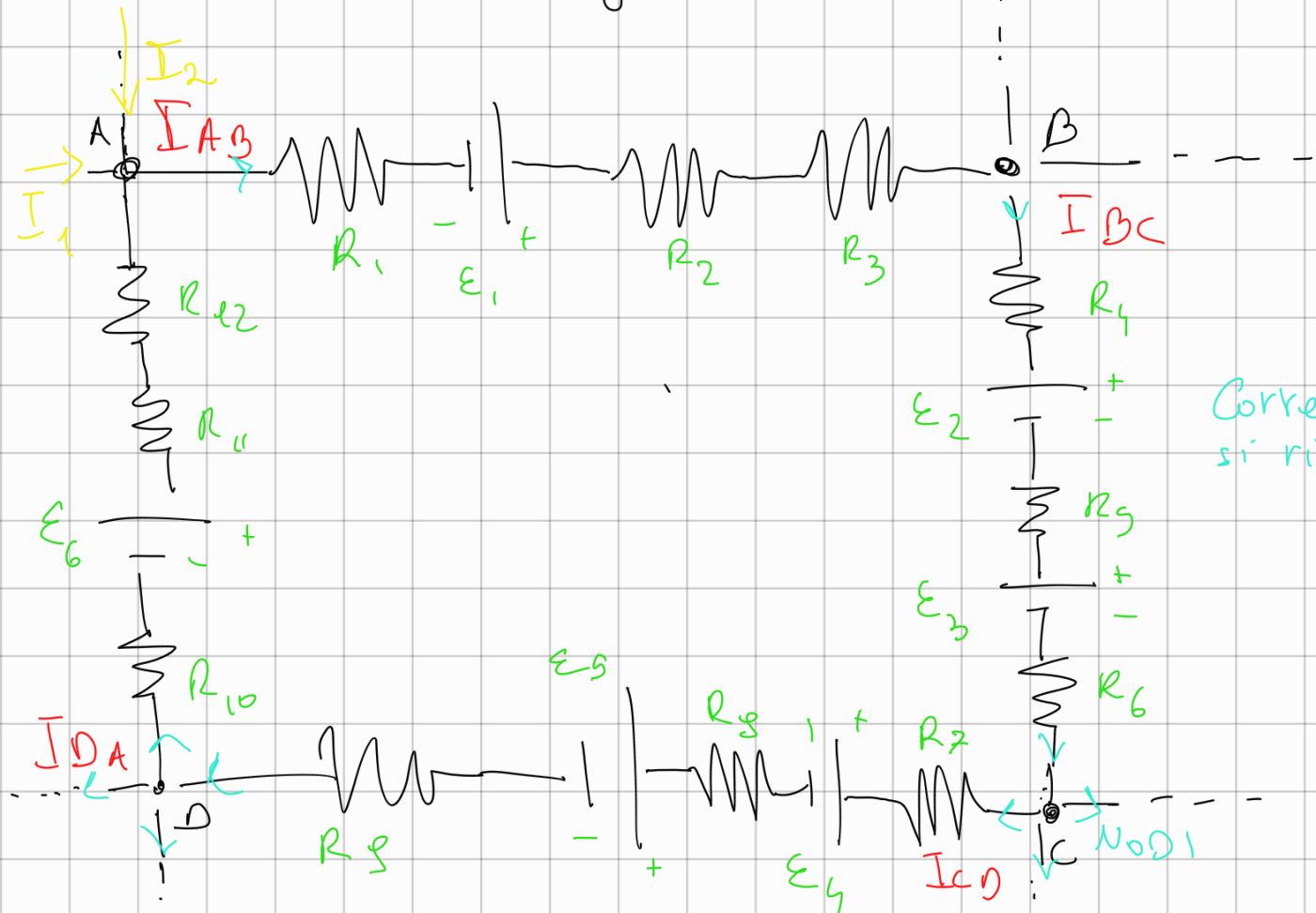
1° caduta di pot.
2° caduta di pot.

Fare guidare
delle curve

$$V_B - V_A = \sum E_i + \sum R_i I$$

soma algebrica

Più rami collegati tra loro



Corrente
si ripartisce

le correnti non sono più uguali, 4 correnti diverse, però per determinare una corrente e vedere le correnti.

1 legge
fuori circuito
Sottra definite
correnti e' nulla

$$V_A - V_B = R_1 I_{AB} - \mathcal{E}_1 + (R_2 + R_3) I_{AB}$$

$$V_B - V_C = R_4 I_{BC} + \mathcal{E}_2 + R_5 I_{BC} + \mathcal{E}_3 + R_6 I_{BC}$$

$$V_C - V_D = R_7 I_{CD} + \mathcal{E}_4 + I_{CD} + \mathcal{E}_5 + R_8 I_{CD}$$

$$V_D - V_A = R_{10} I_{DA} - \mathcal{E}_6 + (R_{11} + R_2) I_{DA}$$

LINEA CHIUSA

lungo un circuito le somme delle differenze di potenziale e' nulla.

2^a legge di KIRCHHOFF



CIRCUITO CHIUSO = MAGLIA

cadute + eme legge e' nulla

$$0 = (R_1 + R_2 + R_3) I_{AB} - \mathcal{E}_1 + (R_4 + R_5 + R_6) I_{BC} + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \\ + (R_7 + R_8 + R_9) I_{CD} + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + (R_{10} + R_{11} + R_{12}) I_{DA} - \mathcal{E}_6$$

1^a legge di Kirchhoff.

$$I_{AB} - I_1 - I_2 - I_{DA} = 0$$

