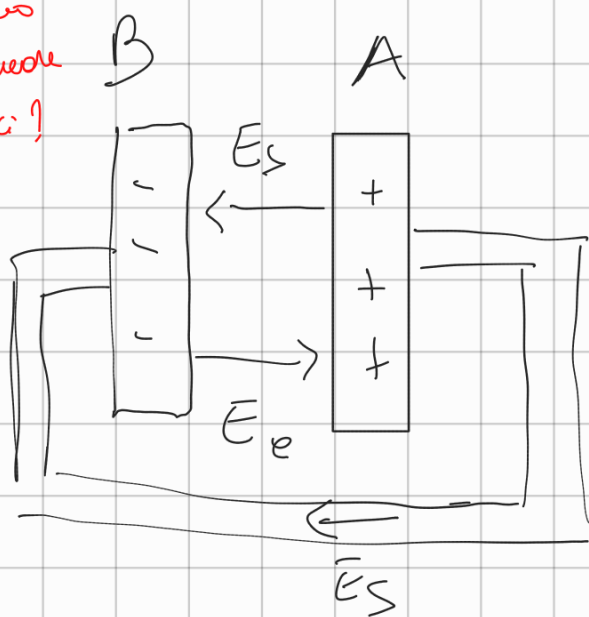


Come un fenomeno
magnetico può generare
fenomeni elettrici?
attraverso un
cavo magnetico



Lavoro fatto dal campo
Elettromagnetico

$$\mathcal{E}_e = \int_B^A \underline{E}_e \cdot d\underline{\ell}$$

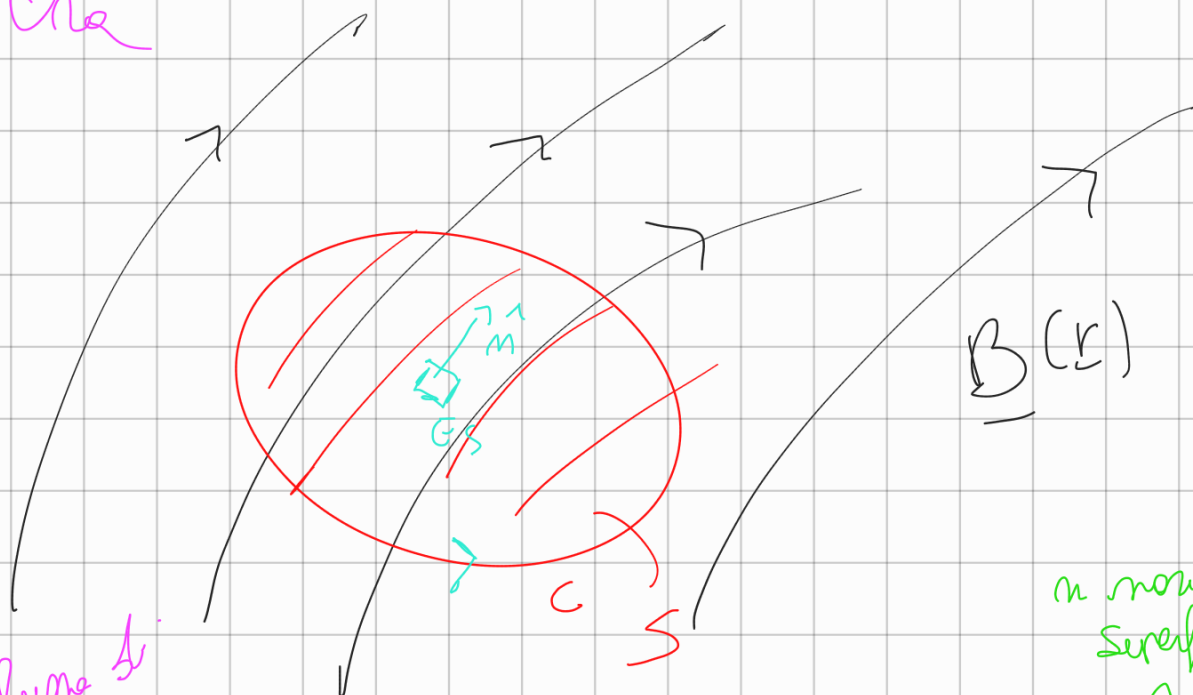
dove e è l'elettromotore

Lavoro contro le forze del campo per portare una carica da B a A
o viceversa

$$V_A - V_B = - \int_B^A \underline{E}_s \cdot d\underline{\ell} = \int_A^B \underline{E}_s \cdot d\underline{\ell}$$

Forza elettromotrice di un generatore è pari alla
 ΔV a vuoto, quando non passa corrente

Che



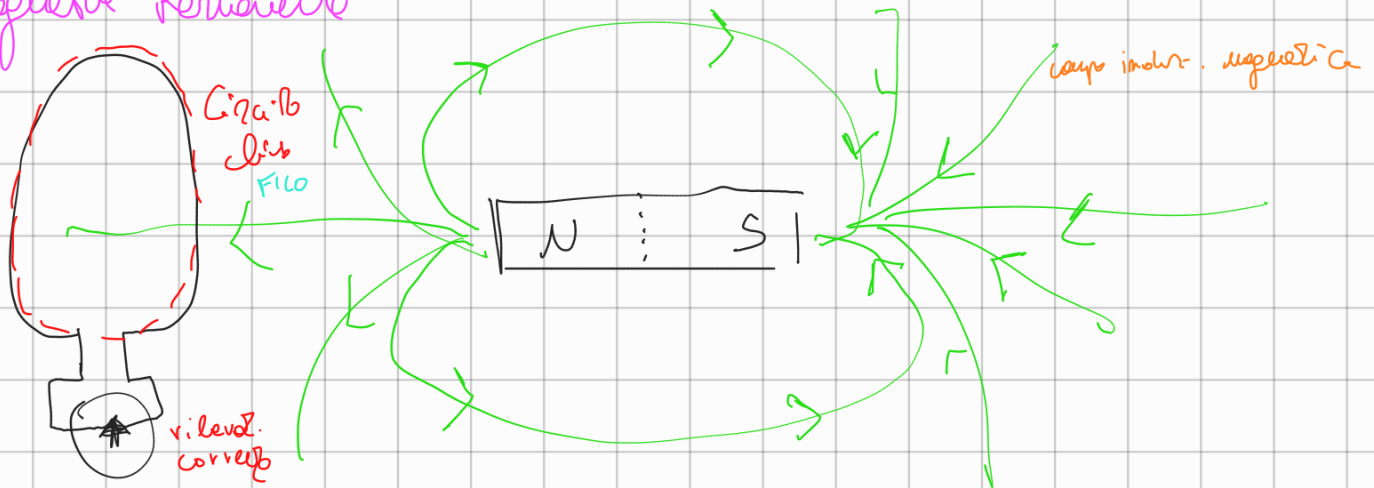
$\underline{B}(r)$

n normale alla
superficie, prendiamo
 $\hat{n}$ con la regola
della mano destra



$$= \iint_S \underline{B}(r) \cdot \hat{n} dS$$

esperimento FARADAY
 Correnti el. generano campi magnetici H . Correnti magnetiche possono
 però anche generare correnti elettriche, esperimento di Faraday
 Magnetite permanente



Galvanometro

Altera il polo si connette, e la direzione

in condizioni statiche, Faraday osservò che, in un filo conduttore
 l'ago rimaneva fermo (del Galvanometro). Quindi il
magnetite velocemente, la lancetta si muoveva,
per una corrente nel circuito. se lo elettrodo si
muove la lancetta in direzione opposta.

Noterò che la veloc. del campo magnetost. induce una
 corrente elettrica

Se fatto solo il circuito e tenuto fino al magnetite,
 succede la stessa cosa. Quindi non era la velocità dell'
 induzione magnetica.

Altri esperimenti, magnetite permanente sostituito con un
 elettrodo e cambiato la corrente nel circuito
 induceva corrente, perché cambiava il campo

LEGE DI FARADAY -

- NEUMANN - LENZ

Fisica - NEUMANN

Quando il flusso del vettore indug. magnetica concatenato da un circuito chiuso filo conduttore, VARIA NEL TEMPO, nel circuito si induce una f.e.m. ogni variaz. di un sist magnetico produce un'azione che tende ad opporsi alla variaz. stessa

Legge della induzione elettromagnetica

Induzione = indurre un fenomeno a distanza
e' una legge INDIPENDENTE, non si può ricavare da altre leggi.
indug. magnetica in un circuito chiuso nel tempo
flusso vettore

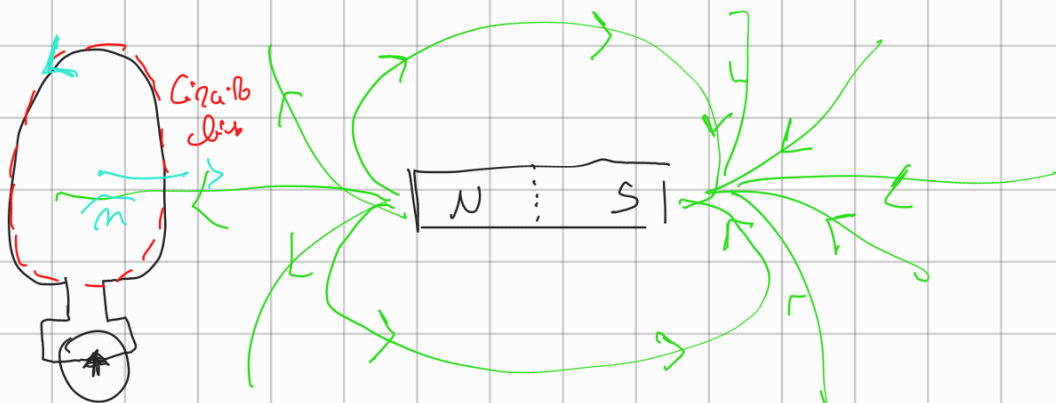
$$\Phi[B, t] = \iint_S \underline{B}(r, t) \cdot \hat{n} dS$$

→ Circuito indeformabile, e che B cambia nel tempo
non c'è da far variare S e rimanere B, anche se un Flusso variabile

Se il circuito chiuso può individuare una sup. aperta

In cui si appoggia. Il circuito chiuso lo pensavo

orientato, ricorda che riguarda regola mano dx



Lungo il circuito chiuso allora si induce una
dopo la variaz. di flusso

forza elettromotrice che è uguale al

flusso di induzione che fluisce nel tempo

corrente elettromotrice
capace di spostare
cariche

$\Rightarrow \mathcal{E}_i(t) = - \frac{d\Phi[B, t]}{dt}$

indotta

ci deve essere un
flusso che attraversa
la sp. della spira
e che varia
nel tempo

Leva corresse il
segno altrimenti violerebbe
la conservazione.

di energia

avrebbe
corrente el.
che sposta cariche
↓
corrente.

La forza si deve
opporre alla causa che l'ha
generata

Forza che si oppone alla variazione
di flusso, che vuol dire che
corrente si oppone alla causa che l'ha
generata

Quando ho una corrente, elettroni si
muovono, c'è una forza a spingere
che fa muovere una carica, una forza

ELETTROICA (non più caso statico)

Se ho elettroni che si muovono, nei fili ci sta
sviluppando un campo elettrico

Per variare di campo si insisterà su questo
e' capace di generare un campo elettrico.
il campo elettrico esiste anche
se non c'è il filo conduttore

Se ci mette il filo, elettroni girano intorno

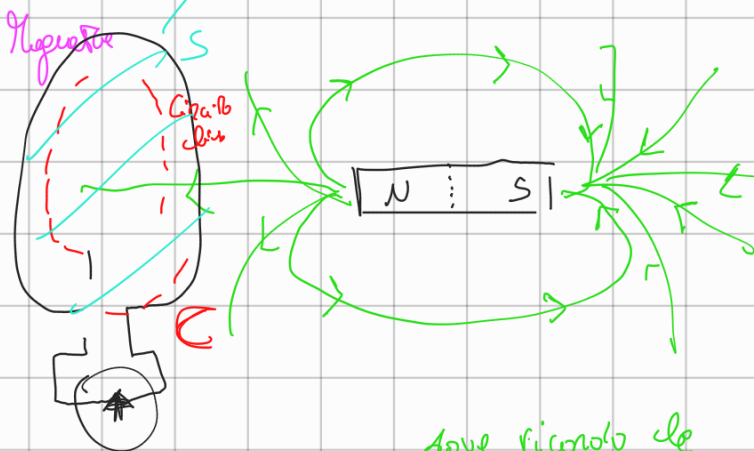
Se calcolo l'induzione lungo tutto la

linea

$$\Phi(B, t) = \iint_S B(r, t) \cdot \hat{n} ds$$

se circuito chiuso
scorre allora
corrente indotta

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$



Se circuito aperto
tra due punti avrò una $\Delta\phi = \mathcal{E}$

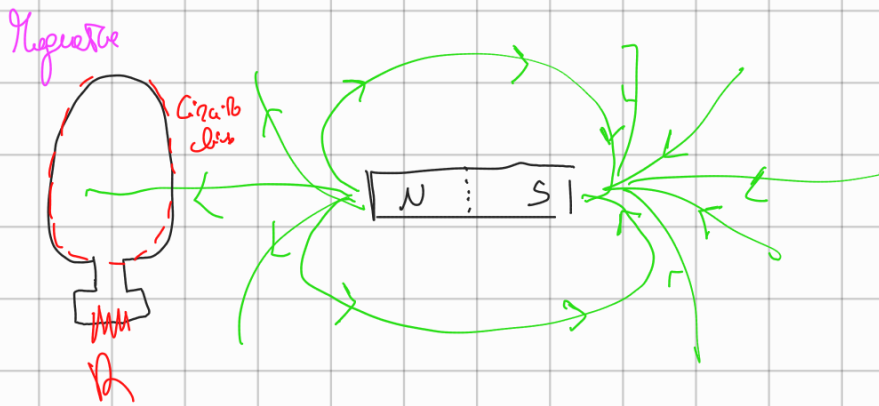
Circuitos. $\neq 0$, da
e la Forza
elettromotrice

il campo
elettrico
NON STAZIONARIO
CHE MUOVE
CARICHE

$$\oint_C \underline{E}_i(r, t) \cdot d\underline{C} = \mathcal{E}_i(t)$$

Circuitos.
camp el

Se lo chiudo dopo una resistenza



Scopri una corrente $I_i(t) = \frac{E_i(t)}{R}$

- Quindi quello che si induce con la variazione nel tempo, entra in gioco il campo ELETTRICO, non Elettrostatico come E .
a seguito di campi magnetici variabili nel tempo
e variaz. di campo elettrico genera un campo magnetico.

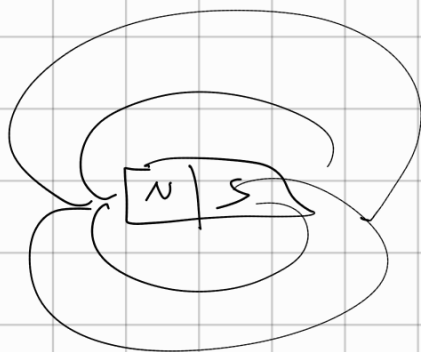
Adesso serve più strada. parlare di
Campi Elettromagnetici

INDEOLET- altro che si dice la legge

TOLGO CONDUZIONE e PRENDO SUP MATEMATICA $\perp$



S



Legge vole con cora.

Variaz. flusso lungo S

Induce campo elettrico ind.
t.c. se solo a calc.
dei circuiti.

$$\oint_C \vec{E}_{\text{indotto}}(r, t) \cdot d\vec{c} = \mathcal{E}$$

$\mathcal{E}$ = circuitos.
di un corpo
el.

anche se non lo fili connessi.

$\vec{E}_i$: campo elettrico, variabile nel tempo, non conservativo
e se voglio rilevare questo campo, pongo un conduttore.

Legge forte tra campo el. e magnetico
variabili nel tempo.

Da un po' un campo magnetico variabile nel tempo $\Rightarrow$
avremo un campo el. variabile nel tempo

$$\begin{aligned} \Rightarrow \oint_C \vec{E}(r, t) \cdot d\vec{c} &= - \frac{d}{dt} \oint_S \vec{B}(r, t) \cdot d\vec{S} \\ &= - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B}(r, t) \cdot \hat{n} dS \end{aligned}$$

S sup. su cui ho

ogni C

SONO SUP. APERTE,
NON CHIUSURE

Se sup. INDEF., S COST, punto dello stesso

derivata parziale risp. al tempo

$\oint_C \underline{E}(r,t) \cdot d\underline{c} = - \iint_S \frac{\partial \underline{B}(r,t)}{\partial t} \cdot \hat{n} dS$

Stokes

$$\iint_S \nabla \times \underline{E}(r,t) \cdot \hat{n} dS = - \iint_S \frac{\partial \underline{B}(r,t)}{\partial t} \cdot \hat{n} dS$$

$$\Rightarrow \boxed{\nabla \times \underline{E} = - \frac{\partial \underline{B}(r,t)}{\partial t}}$$

FARADAY NEWTON
LENS IN FORMA
DIFF. $\nabla \times \underline{E}$

IN ogni punto dello spazio mi dice LEGAME
che c'è tra VARIAZ. del VET. CAMPO EL. NEL
TEMPO e INDUZ. MAGNETICA

$$\underline{E} = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}(\underline{r}, t)$$

DEDDTA MEM.

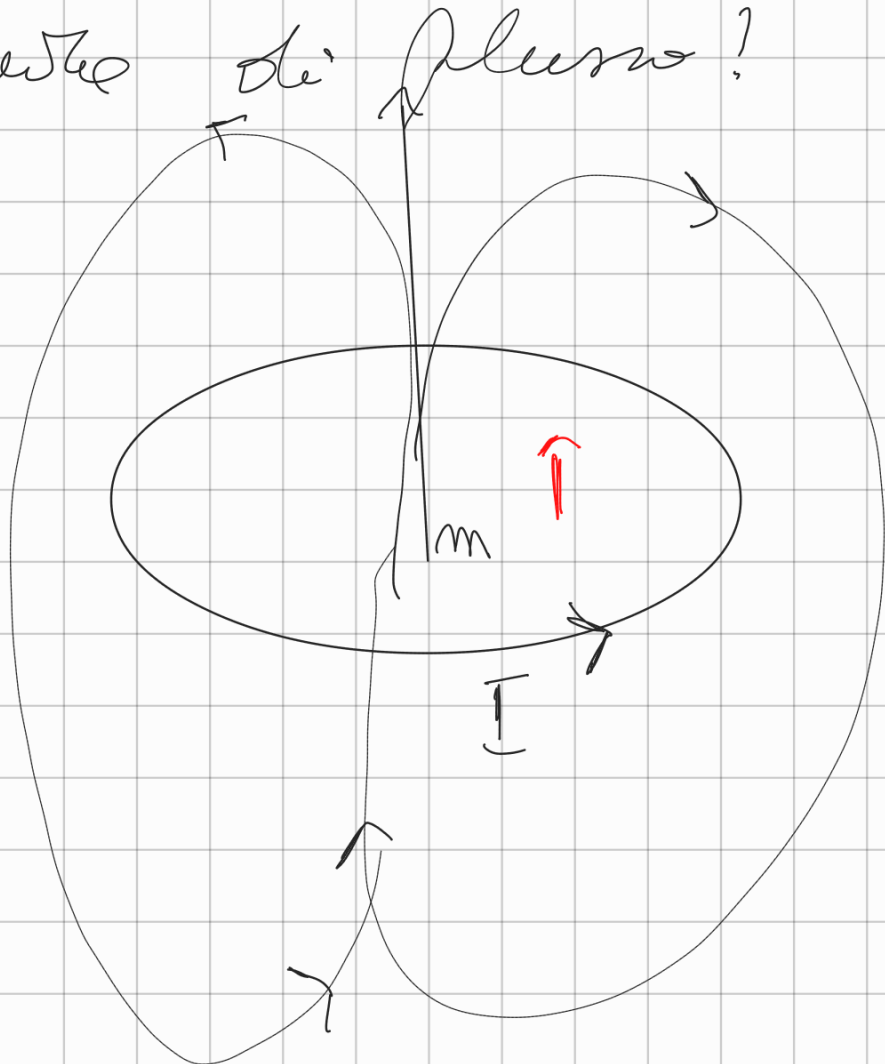
perché questo $\ominus$?

Vediamo caso particolare per cui è possibile
DEDURRE LEGGE dalla legge LORENTZ

VEDI ESEMPIO PIÙ SOTTO

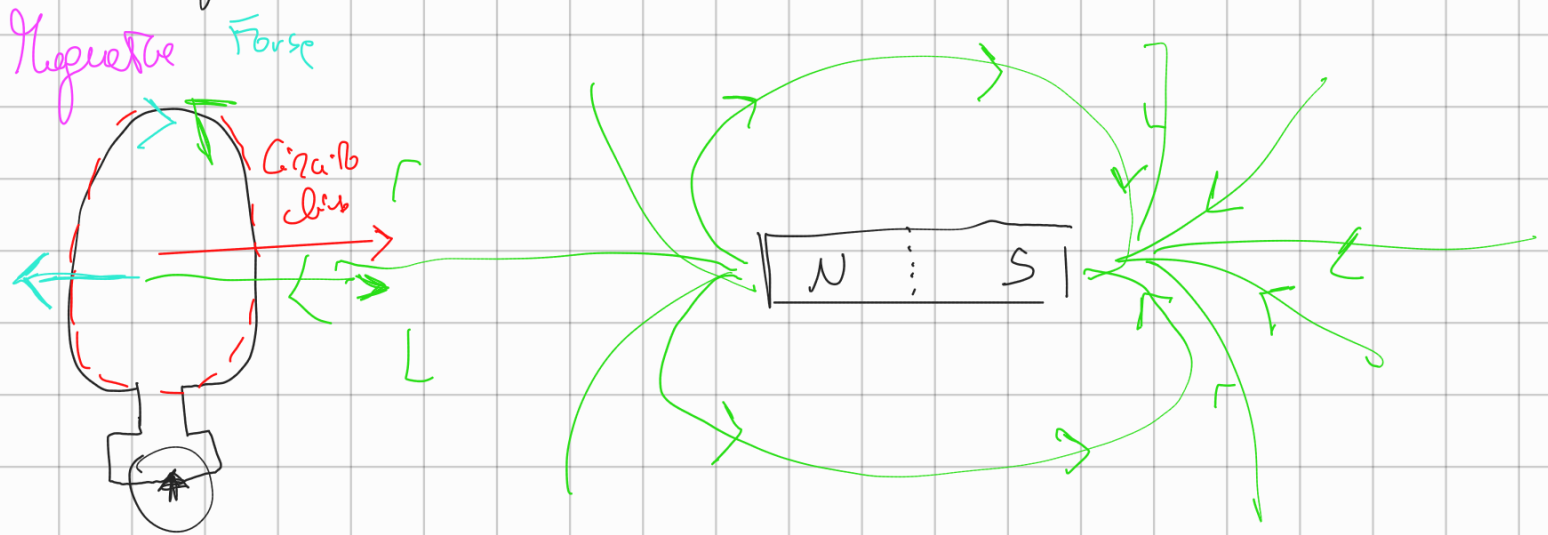
A vicinanza del conduttore il campo
di conduttore. il Flusso
aumenta o diminuisce?

Se lo avviciniamo, il campo B aumenta
l'intensità, quindi aumenta il Flusso
nel tempo. Cosa può controscendere
l'aumento di flusso?



Fermi table

La corrente sparisce alla variaz. di flusso,
quindi deve generare un campo opposto
a quello che sta variando



Se aumentiamo il magnetismo,
si genera corrente che genera un campo
che si oppone alla diminuzione di
flusso.

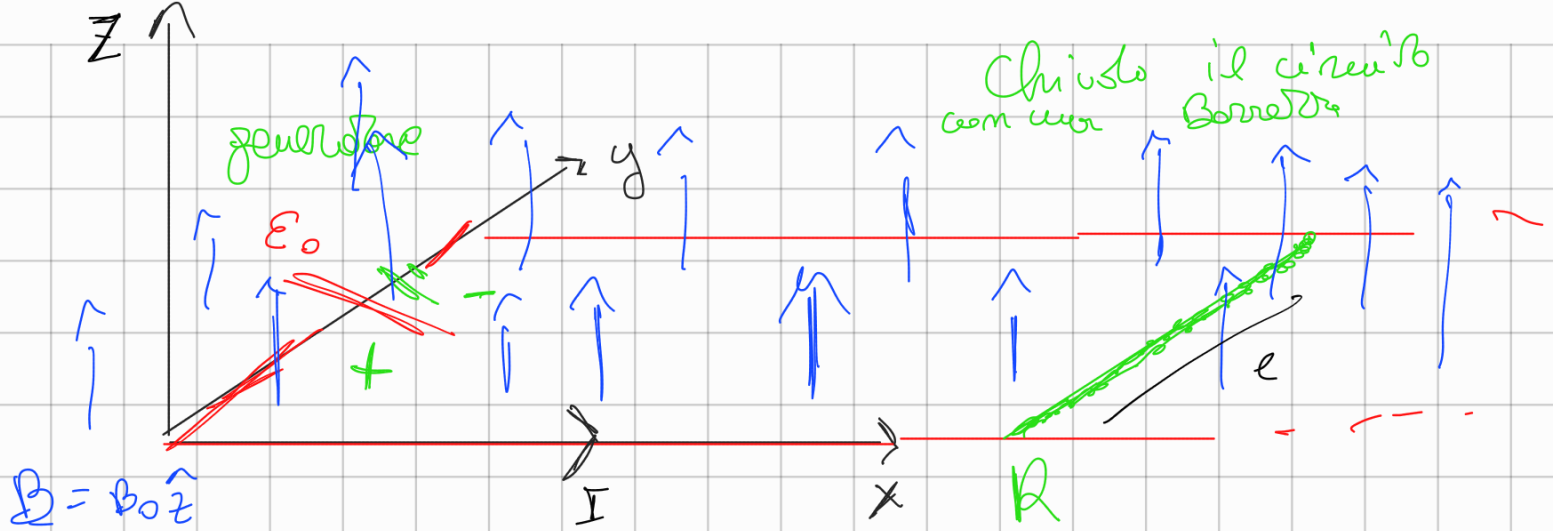
Causa della $F_{em} =$ Variazione di flusso

F ^{esperienza} **LUSSO TAGLIATO**

generazione ed è così legato a due
BIMANI SO CHE SCARICA SENZA ATTENUTO UNA
BIMANA PIU' MPT. CONVENZIONE, PENA SEMPRE PARALLELA

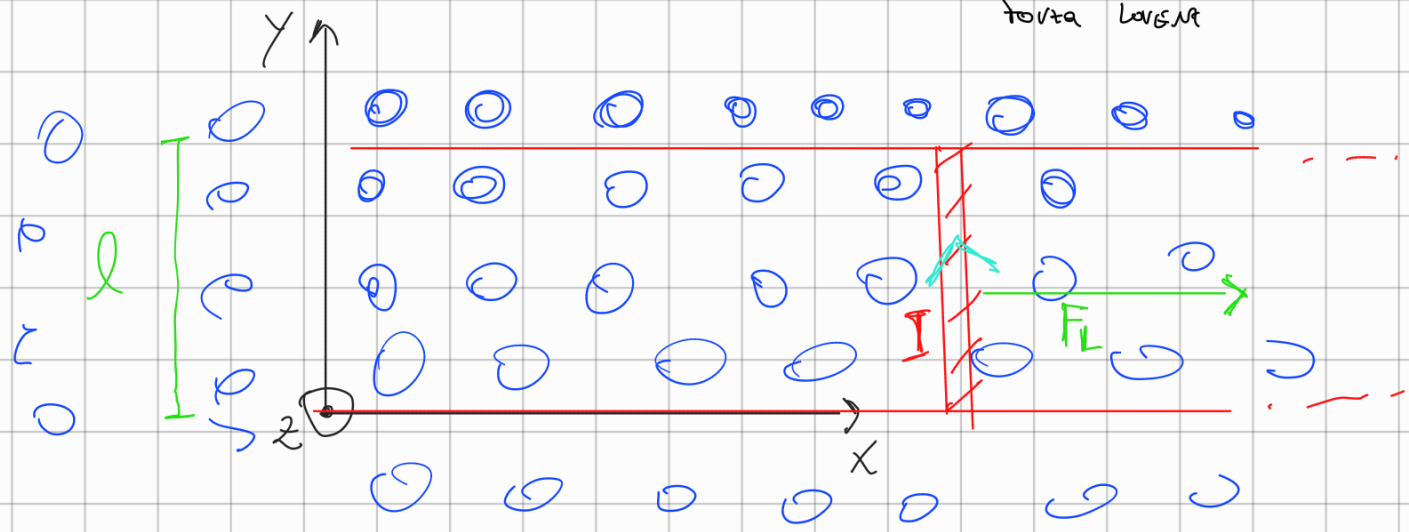
• il tutto è immerso in un campo indutt. magnetica
UNIFORME

• Solenoidale SCARICA CORRENTE I, R resistenza al circuito



due fili con correnti infinitamente vicini

Sulla seconda agisce forza Lorentz



Conoscendo che passa sulla batteria

$$I = \frac{E_0}{R}$$

o



Ma, si accende lungo tutto il regime un campo magnetico uniforme lungo z

$$\underline{B} = B \hat{z}$$

Sulla batteria si esercita una F di Lorentz

$$\underline{I} \perp \underline{x} \perp \underline{B}$$

Lorenz.

$$\underline{F}_L = \underline{I} (\underline{l} \hat{y}) \times (B \hat{z}) = \underline{I} l B \hat{x}$$

non essendo attrito, la bobina si muove d'una
uniform. accel.

la molla viene accelerata.

MOTORETT. accel. con velocità $v(t)$

muovendosi, il flusso varia

• $V(t)$
velocità della bobina
all'istante t

lavoro da compie la forza

$$L = F_L \cdot x$$

Lavoro forza LORENZ

Potenza sviluppata dalla forza L all'istante t

nel circuito sono I si
dissipa pot. in effetto Joule su R

$$P = F_L \frac{dx(t)}{dt} = F_L v(t)$$

Potenza erogata
dal generatore

il generatore
e' colui che fornisce
questa potenza

$$\mathcal{E}_0 I = R I^2 + F_L v(t)$$

Potenza totale che sviluppa
il generatore

Bilancio energetico

che andrà causata come eff.
Joule sulla resistenza,
e un po' sarà ceduta alla
 F di Lorenz.

di visto per la corrente

$$\frac{\mathcal{E}_0 I}{I} = \frac{R I^2}{I} + \frac{F_L v(t)}{I}$$

Divido per RI

$$\Rightarrow \underline{\mathcal{E}_0} = \underline{R I} + \underline{\frac{F_L v(t)}{I}}$$

diviso per la R

$F \frac{V}{I}$ che

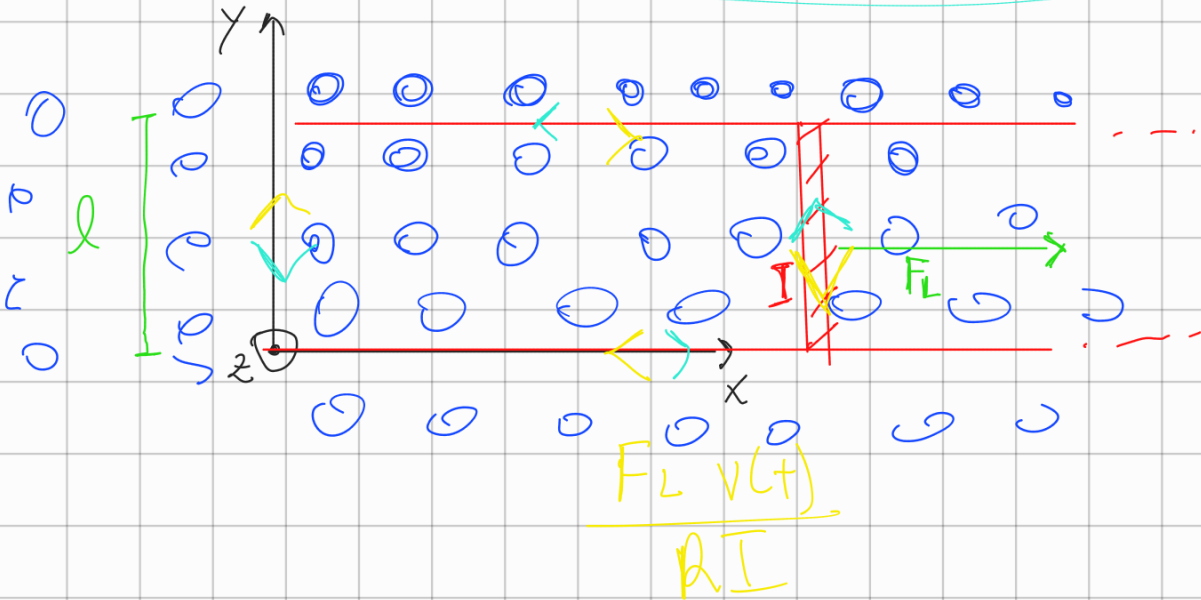
come se ci fosse una
la parte I al contrario

mi sono calcolato
con il bilancio energetico
la corrente che circola
nel circuito dopo
la $F \cdot L$

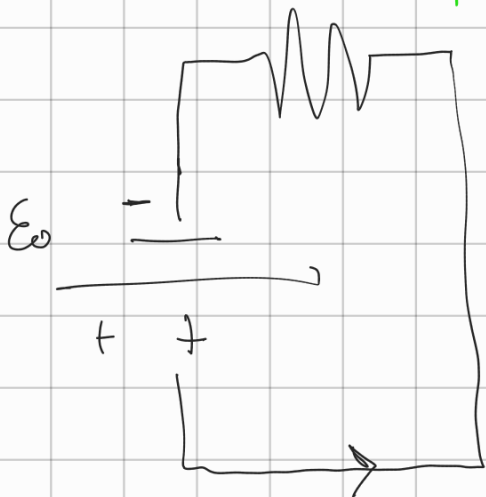
$$\Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}_0}{R} - \frac{F_L V(t)}{R I}$$

corrente nel circuito
se sbarra non si muove

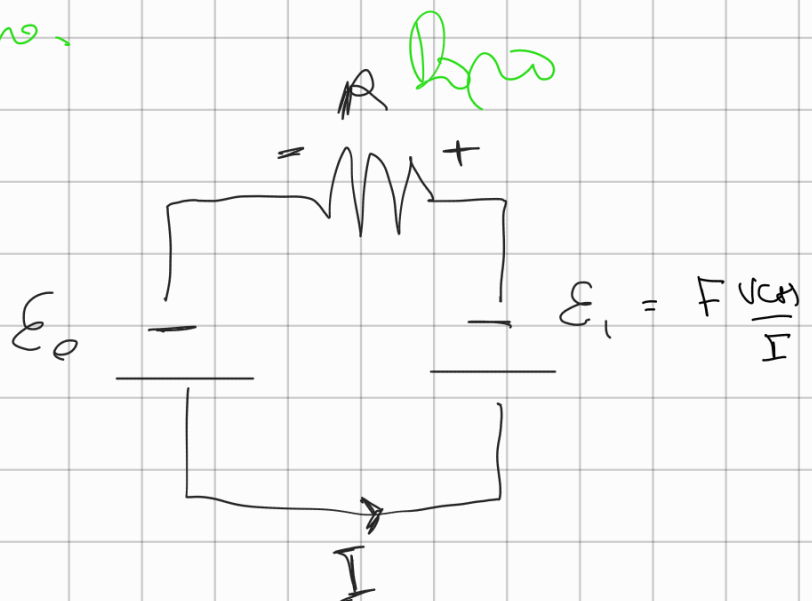
Ma, quando la $F \cdot L$ si muove, c'è
un'altra corrente che circola nel verso opposto



Quindi il circuito scorre volutamente
una corrente volente più piccola
stabilita alle $F \cdot L$ alla presenza del
campo magnetico
Circuito pila / ohm.



$\Rightarrow$



allora un conduttore di tensione

$$R I - \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_1 = 0$$

$$\mathcal{E}_0 = R I + \mathcal{E}_1$$

$$\rightarrow \mathcal{E}_1 = \frac{F_L v(t)}{I} = \frac{\cancel{I} l B v(t)}{\cancel{I}} = B l v(t)$$

in questo istante di tempo per calcolare la variazione del flusso

$$= B l \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d\Phi[B, t]}{dt}$$

→ variazione di Flusso Φ



$l \cdot dx$ area
spazza alla
velocità nel
tempo dt

Flusso su B
 $= B l \frac{dx}{dt}$
 (esterno normale)

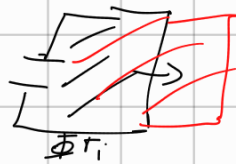
$l \frac{dx}{dt}$ è d'area
che la barra
spazza muovendosi.

Spostamento
infinitesimo $dx(t)$

Con lo spostamento, il flusso Φ varia nel tempo
e ciò induce una forza elettromotrice

indotta $\mathcal{E}_i = \frac{F_L v(t)}{I}$ che produce una corrente opposta

perché il flusso sta aumentando. ($\mathcal{E}_i$) Si oppone alla causa



de l'ha generata! (ϵ_0)

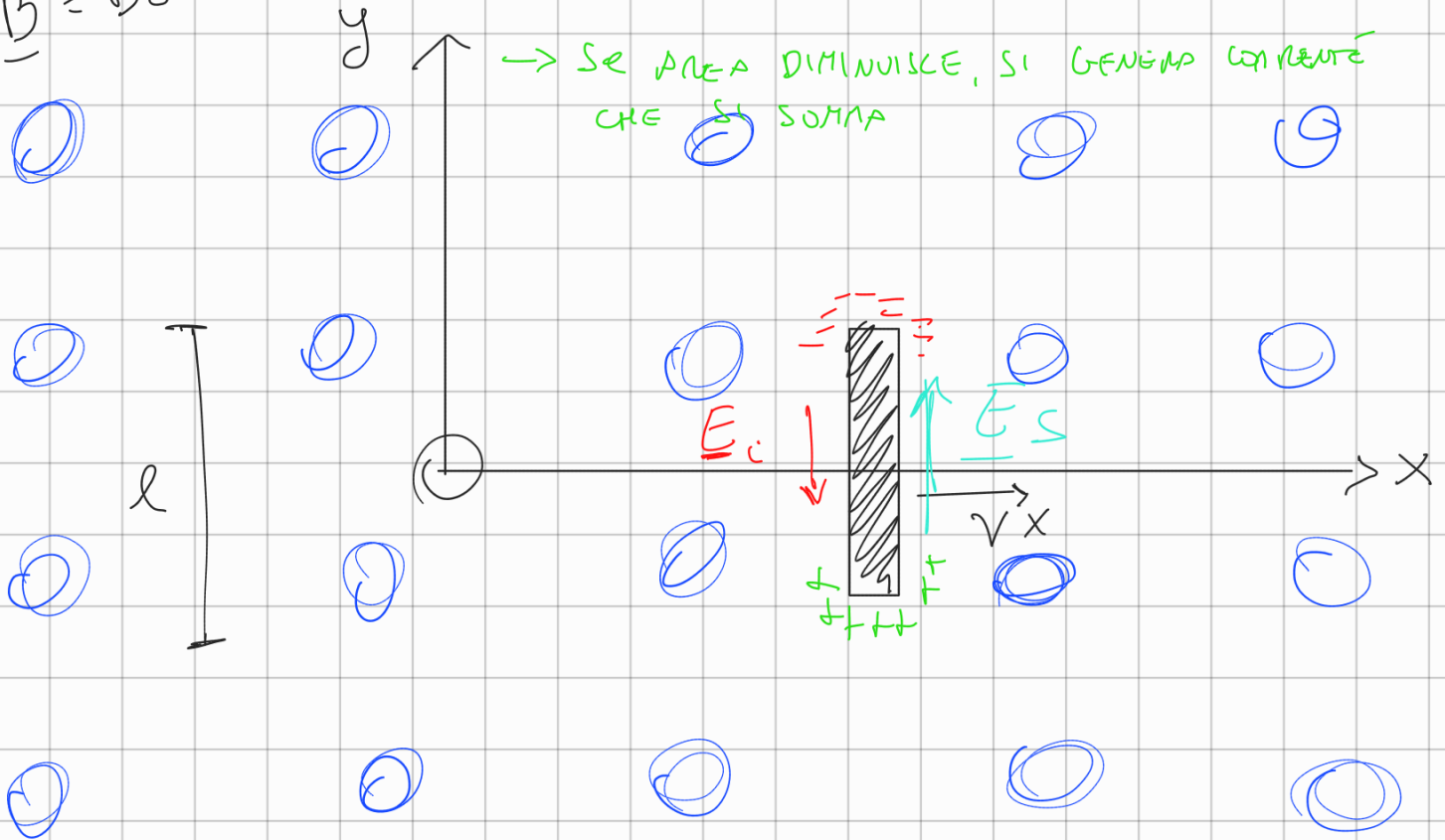
→ da Far $\epsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ per l'induzione corrente opposta. Se B costante e stessa
si muove $\Phi(B, t)$ da calcolo con la sol. de la corrente sot
Flusso sta aumentando $\Phi(B, t) = B_0 \hat{z} \cdot x(t) \hat{z}$

Far si oppone, la corrente opposta produce un campo di induz. ugu. in posto de
dovra' diminire B , $B_i \downarrow$ $B_0 \uparrow$ Si grave, affinché flusso sia costante

$$\underline{B} = B \hat{z}$$

S avendo $(x \cdot l)$ ma B tot. diminuisce

→ Se AREA DIMINUISCE, SI GENERA CORRENTE
CHE SI SOMMA



$$\underline{F}_L = q \underline{v} \times \underline{B}$$

$$\underline{F}_L = (-e) v \hat{x} \times B \hat{z} = (-e) v B (-\hat{y})$$

Forza di Lorentz. Testa' a grado pl. debbi

verso su, dove si crea un campo di lettura

e blo. port. sposta si crea un campo

di coriche positivo

$$\underline{E} = vB(-\hat{y})$$

campo elettromotrice

(dopo l'equilibrio)
dopo un po' l'angolo
di coriche fanno nascere
un campo elettromotrice
i due corpi si controbilanciano

Cio' finche' mi muovo, il numero delle
linee che passa per s.d.p. pari a ^{il filo} sta aumentando

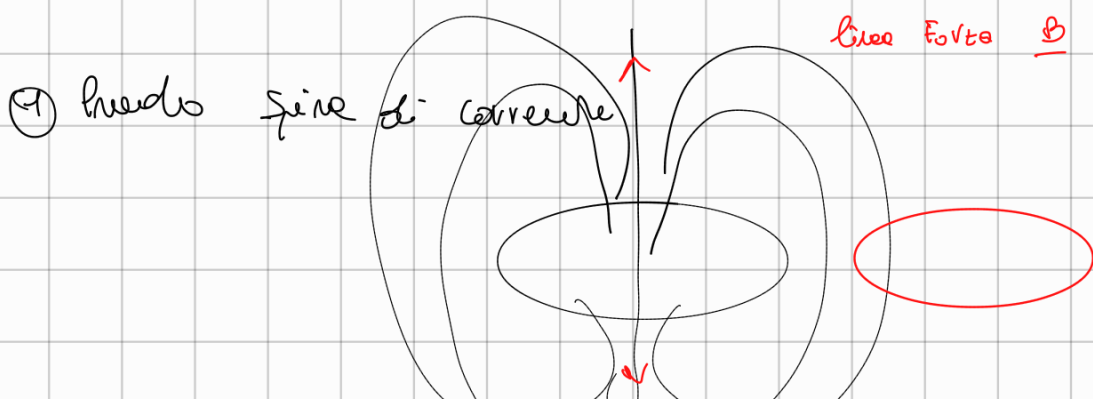
$$\Delta V = vB \cdot l, \text{ verso del movimento.}$$

$$\Rightarrow \mathcal{E}_i(t) = \frac{d\Phi[B, t]}{dt}$$

questa legge
e' generale
vale anche
nel caso di
filo non tagliato

Flusso Tagliato: se siamo in presenza di variazioni dovute
a deformazioni di circuiti chiusi a corpi magnetici
costanti

Posso anche GENERARE CORRENTI INDOTTE senza MOVIMENTO

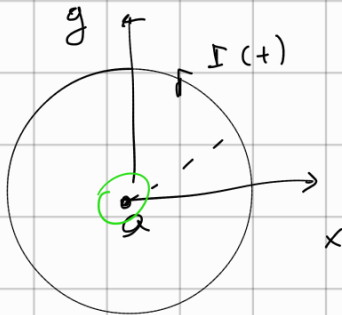


• posso anche spiro
semplicemente variando
corrente, varia anche
campo induttore magnetico
sulla spira, varia flusso

=> INDUO SPIRA

POSSO INDURRE CORRENTE IN UN FILLO CIRCOLARE
CIRCOLO DI R. a OPPOSTO ALLE CARTE GEMME

esempio



z asse

Hyp. corrente ISTANTANEA COSTANTE
al tempo t SU TUTTA LA SPINA

Corrente $I(t)$ varia nel tempo

$\Rightarrow$ campo indus. magnetico
nell'asse z

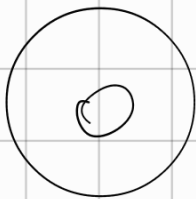
$$\underline{B}(0,0,z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I(t) a^2}{\sqrt{a^2 + z^2}^3} \hat{z}$$

nei punti di centro, $z=0$

$$\underline{B}(0,0,0) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I(t)}{a} \hat{z} \text{ al centro della spina}$$

opposto spina di centro
di raggio b $a \gg b$

Hyp: B sia costante su
tutta la sup. di b



$$\begin{aligned} \Phi_B &= \underline{B}(0,0,0) \cdot \pi b^2 \hat{z} \\ &= \frac{\mu_0 I(t)}{2} \pi b^2 \end{aligned}$$

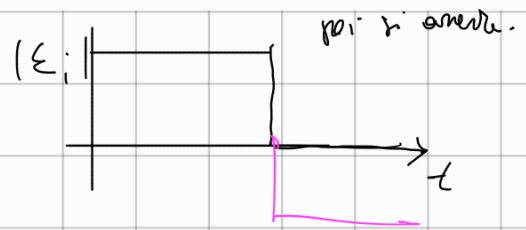
flusso nella
sfera più piccola
generata dalla corrente
nella spina più grande

$$\frac{d\Phi(B,t)}{dt} = \frac{\mu_0 \pi b^2}{2} \frac{dI(t)}{dt}$$

• ipotizz. I cresce linearmente $I = \alpha t$



Si arresta



$$|E_i| = \frac{\mu_0 \pi b^2}{2 a} \alpha$$

costante

Se diminuiscono le

corrente, l'energia c.c. e B_{tot} aumenta
il flusso sta diminuendo

• verso l'induzione I_B ?

Il flusso nel tempo anche

$$\Phi_L = \frac{\mu_0 \pi b^2}{a} \alpha t$$

flusso cresce lin.
nel tempo e $\hat{E}$ e'
diretto come $\hat{z}$

→ DEVE SCORRERE CORRENTE che si oppone
all'aumento di flusso

↳ deve scorrere T.C. e si genera un $\underline{B}_L$ che si oppone a
quello esistente, lungo $-\hat{z}$

così il $\underline{B}_{TOT}$ diminuisce