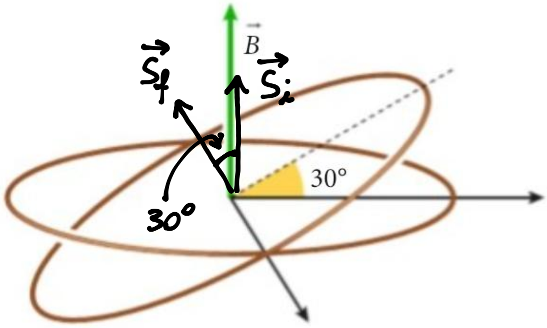
11 Una spira circolare di raggio 2,5 cm è immersa in un campo magnetico di modulo 0,15 T. All'inizio è posta perpendicolarmente alle linee di campo. Successivamente subisce una rotazione di 30°. La rotazione avviene in 10 s.



- Calcola la variazione del flusso del campo magnetico.
- Calcola il modulo della forza elettro~~magnetica~~ MOTRICE indotta.

[−3,9 × 10⁻⁵ Wb; 3,9 × 10⁻⁶ V]

$$\Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i =$$

$$= SB\cos 30° - SB =$$

$$= SB(\cos 30° - 1) =$$

$$= (2{,}5 \times 10^{-2}\,m)^2 \pi (0{,}15\,T)\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - 1\right)$$

$$= -0{,}394\ldots \times 10^{-4}\,Wb$$

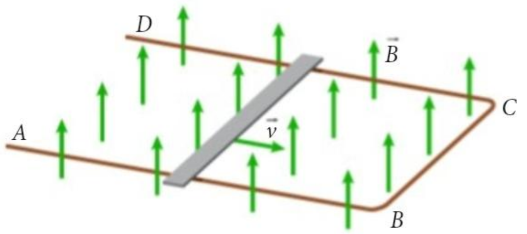
$$\simeq \boxed{-3{,}9 \times 10^{-5}\,Wb}$$

$$f_{em} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{-3{,}94\ldots \times 10^{-5}\,Wb}{10\,s} = 3{,}94\ldots \times 10^{-6}\,V$$

$$\simeq \boxed{3{,}9 \times 10^{-6}\,V}$$

FORZA ELETTROMOTRICE INDOTTA (MEDIA)

18 Una sbarra conduttrice chiude un circuito a forma di U, immerso in un campo magnetico di intensità 0,40 T diretto perpendicolarmente alla superficie del circuito, come nella figura. La sbarra viene spostata verso destra, a partire dalla posizione *AD*, alla velocità di 3,0 cm/s. *AB* misura $2{,}0 \times 10^{-1}$ m e il lato *BC* misura $1{,}0 \times 10^{-1}$ m. La sbarra si muove per un intervallo di tempo di 3,0 s. Il circuito ha una resistenza di 5,0 Ω.



- Calcola la variazione di flusso nell'intervallo di tempo dato.
- Calcola l'intensità di corrente che circola nel circuito a causa dello spostamento della sbarra.

[−3,6 × 10⁻³ Wb; 2,4 × 10⁻⁴ A]

$$\Delta\Phi = -B\ell v \Delta t =$$

$$= -(0{,}40\,T)(1{,}0 \times 10^{-1}\,m)\left(3{,}0 \times 10^{-2}\,\frac{m}{s}\right)(3{,}0\,s) =$$

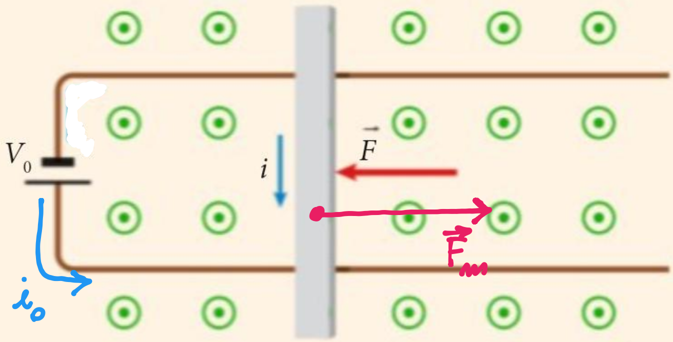
$$= \boxed{-3{,}6 \times 10^{-3}\,Wb}$$

$$i = -\frac{1}{R}\underbrace{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}_{-B\ell v} = -\frac{1}{(5{,}0\,\Omega)} \cdot \frac{-3{,}6 \times 10^{-3}\,Wb}{3{,}0\,s} =$$

$$= 0{,}24 \times 10^{-3}\,A = \boxed{2{,}4 \times 10^{-4}\,A}$$

19 ◆◆◆ **PROBLEMA SVOLTO**

Un generatore di tensione fornisce una differenza di potenziale costante $V_0 = 60$ V ai capi di due binari paralleli conduttori posti su un piano orizzontale.
Una sbarra conduttrice di lunghezza $l = 1{,}5$ m e di resistenza $R = 15\ \Omega$ è posta perpendicolarmente ai due binari ed è libera di scorrere lungo il piano orizzontale. Un campo magnetico uniforme e costante di intensità $B = 0{,}90$ T è perpendicolare al piano orizzontale e ha verso uscente dal piano. Sulla sbarra conduttrice è applicata una forza orizzontale costante perpendicolare alla sbarra di modulo $F = 4{,}2$ N. Trascura la resistenza dei binari e tutti gli attriti.



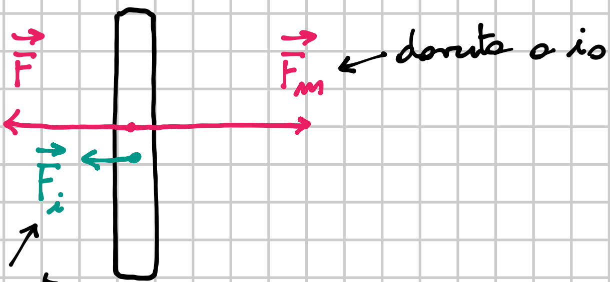
▸ Calcola la velocità di regime della sbarra.

$\vec F_m$ è la forza magnetica che è dovuta alla corrente i_0

FASE INIZIALE

$$F_m = i_0 l B = \frac{V_0}{R} l B = \frac{60\,V}{15\,\Omega}(1{,}5\,m)(0{,}90\,T) = 5{,}4\,N > F$$

quindi la sbarra ha un'accelerazione verso destra e tende ad aumentare il flusso concatenato al circuito. Dunque scorrerà corrente indotta in senso ORARIO ⇒ ci sarà una forza magnetica dovuta a tale corrente



dovuta alla corrente indotta = aumenta finché si ha:

$$\vec F_i + \vec F = -\vec F_m$$

in questa situazione non c'è più accelerazione e la velocità della sbarra è costante (velocità di REGIME v)

Prendendo i moduli:

$$F + F_i = F_m$$

$$F + i l B = i_0 l B$$

$$i = \frac{1}{R} fem = \frac{1}{R} v B l \implies F + \frac{1}{R} v B l \cdot l B = \frac{V_0}{R} l B$$

(in modulo)

$$F + \frac{v B^2 l^2}{R} = \frac{V_0 l B}{R}$$

$$F + \frac{v B^2 \ell^2}{R} = \frac{V_0 \ell B}{R}$$

$$RF + v B^2 \ell^2 = V_0 \ell B$$

$$v B^2 \ell^2 = V_0 \ell B - RF$$

$$v = \frac{V_0}{B\ell} - \frac{RF}{B^2 \ell^2} = \frac{60 V}{(0{,}90 T)(1{,}5 m)} - \frac{(15 \Omega)(4{,}2 N)}{(0{,}90 T)^2 (1{,}5 m)^2} =$$

$$= 9{,}876 \ldots \frac{m}{s} \simeq \boxed{9{,}9 \frac{m}{s}}$$

OSSERVAZIONI SUL SEGNO DI i

$$f_{em} = -\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t} \Rightarrow i = -\frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$$

LEGGE DI FARADAY-NEUMANN-LENZ

R: RESISTENZA DEL CIRCUITO

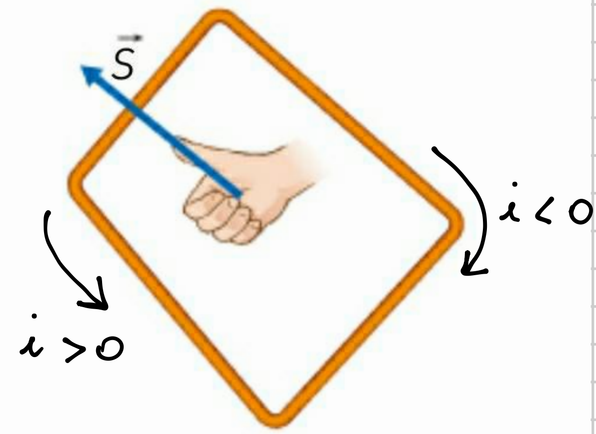
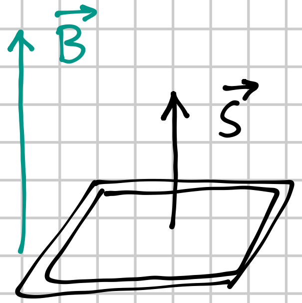
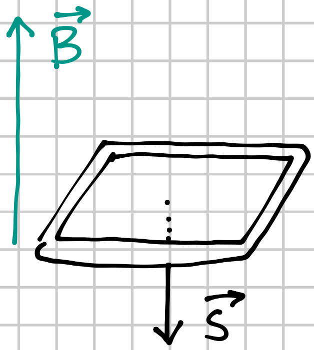


FIGURA 12
Il flusso del campo magnetico è positivo se le linee di campo hanno lo stesso verso fissato per il vettore superficie $\vec{S}$ (se no è negativo); la corrente indotta è positiva se scorre nel verso delle dita avvolte della mano destra quando il pollice è orientato come $\vec{S}$ (e negativa altrimenti).



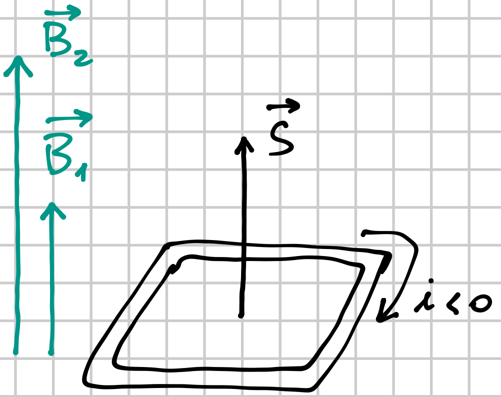
$$\Phi(\vec{B}) = BS > 0$$



$$\Phi(\vec{B}) = -BS < 0$$

UNITÀ DI MISURA DEL FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO:

WEBER $\quad 1\,Wb = (1\,T)\cdot(1\,m^2)$



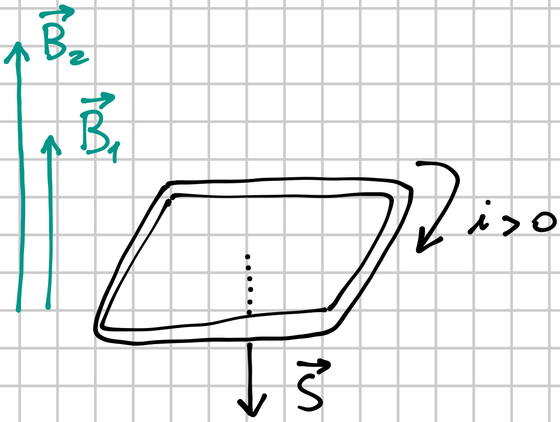
$$\Phi_1(\vec{B}) = B_1 S \qquad \Phi_2(\vec{B}) = B_2 S$$

$$\Delta\Phi(\vec{B}) = B_2 S - B_1 S = (B_2 - B_1) S > 0$$

$$\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t} > 0 \Rightarrow f_{em} < 0$$

$$\Downarrow$$

$$i < 0$$



$$\Phi_1(\vec{B}_1) = -B_1 S \qquad \Phi_2(\vec{B}_2) = -B_2 S$$

$$\Delta\Phi(\vec{B}) = -B_2 S - (-B_1 S) = -B_2 S + B_1 S = (B_1 - B_2) S < 0$$

$$\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t} < 0 \Rightarrow f_{em} > 0$$

$$\Downarrow$$

$$i > 0$$

La **legge di Lenz**, che prende il nome dal fisico russo Emilij Kristianovic Lenz (1804-1865), afferma che

> il verso della corrente indotta è sempre tale da opporsi alla variazione di flusso che la genera.

Per un circuito fisso, che non si deforma né ruota (FIGURA 11), questa legge dice che:

- una corrente indotta, causata da un *aumento* $\Delta\vec{B}$ del campo magnetico esterno $\vec{B}$, genera un campo magnetico $\vec{B}_{\text{indotto}}$ che ha verso opposto a quello di $\vec{B}$;
- una corrente indotta, causata da una *diminuzione* $\Delta\vec{B}$ del campo magnetico esterno $\vec{B}$, genera un campo magnetico $\vec{B}_{\text{indotto}}$, che ha lo stesso verso di $\vec{B}$.

Dal punto di vista matematico, la legge di Lenz è espressa dal segno «meno» che compare nelle formule [2] e [3].