

ver. 0000A

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Elettrotecnica NO

Angelo Bagгинi

Rappresentazione e analisi

dei circuiti magnetici

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Facoltà di Ingegneria

Ipotesi

~~$\frac{d}{dt}$~~
 $I \neq 0$

Equazioni di Maxwell in B

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\int_e \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu \epsilon_0 \int_{S(e)} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Equivalenza formale con le equazioni

del campo elettrico

Equivalenza formale circuiti elettrici e magnetici

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Facoltà di Ingegneria

C. Elettrici	C. Magnetici
I	Φ_B
J	B
V, E, fem	U, M, fmm
$\sum V = 0$	$\sum U = 0$
$\sum I = 0$	$\sum \Phi_B = 0$
$R = \rho \frac{l}{S}$	$R = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S}$
$V = RI$	$U = R\Phi$

Solenoido

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Facoltà di Ingegneria

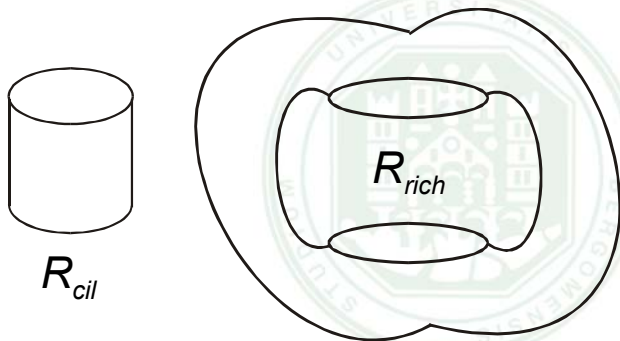
Solenoide

Calcolo della riluttanza

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO



Facoltà di
Ingegneria



Solenoide

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO



Facoltà di
Ingegneria

$$R_{cil} = \frac{1}{\mu_0} \frac{L}{A}$$

$$R_{rich} \ll R_{cil}$$

$$\Phi_B = \frac{M}{R_{cil}} = \frac{NI}{\frac{1}{\mu} \frac{L}{A}}$$

$$n = \frac{N}{L}$$

$$M = NI$$

$$R_{cil} = \frac{1}{\mu} \frac{L}{A}$$

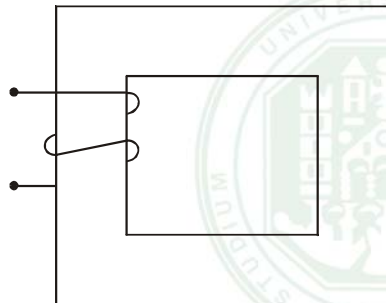
The diagram shows a solenoid with a magnetic core. The current I flows through the solenoid, creating a magnetic flux Φ_B . The reluctance of the core is R_{cil} . The magnetic moment is $M = NI$. The number of turns per unit length is $n = \frac{N}{L}$.

Circuito magnetico

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO



Facoltà di
Ingegneria



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO



Facoltà di
Ingegneria

- Rimuoviamo l'ipotesi

$$\frac{d}{dt} = 0$$

Simboli minuscoli!

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO Facoltà di Ingegneria

Induzione elettromagnetica

$$\int_e \vec{E} d\vec{l} = - \frac{d \int_s \vec{B} d\vec{s}}{dt} \quad v_{AB} = - \frac{d\Phi_C}{dt}$$

$$v = \frac{d\Phi_C}{dt}$$

Utilizzatori

Corso di Elettrotecnica NO - Capitolo 3 - Rappresentazione e Analisi circuiti magnetici

Induzione elettromagnetica UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO Facoltà di Ingegneria

$$\phi = \frac{i}{R}$$

$$v = \frac{di}{dt} = \frac{1}{R} \frac{di}{dt}$$

Corso di Elettrotecnica NO - Capitolo 3 - Rappresentazione e Analisi circuiti magnetici

Induzione elettromagnetica UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO Facoltà di Ingegneria

Induttanza

$$e = \frac{d\Phi_C}{dt} \quad \phi_C = N\phi \quad e = \frac{N}{R} \frac{di}{dt}$$

$$\phi_C = \frac{Ni}{R} \quad v = Ne$$

$$v = \frac{N^2}{R} \frac{di}{dt} \quad \frac{N^2}{R} = L$$

Corso di Elettrotecnica NO - Capitolo 3 - Rappresentazione e Analisi circuiti magnetici

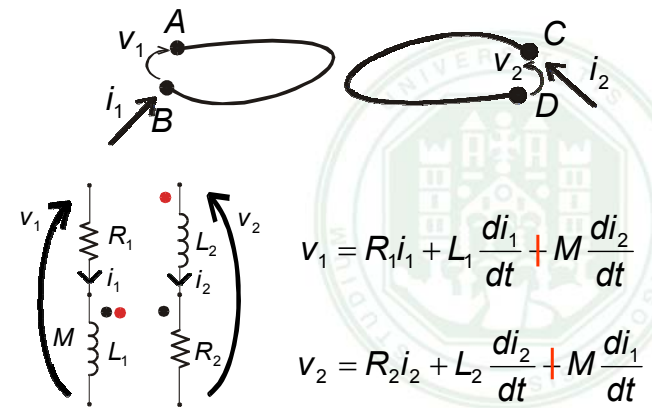
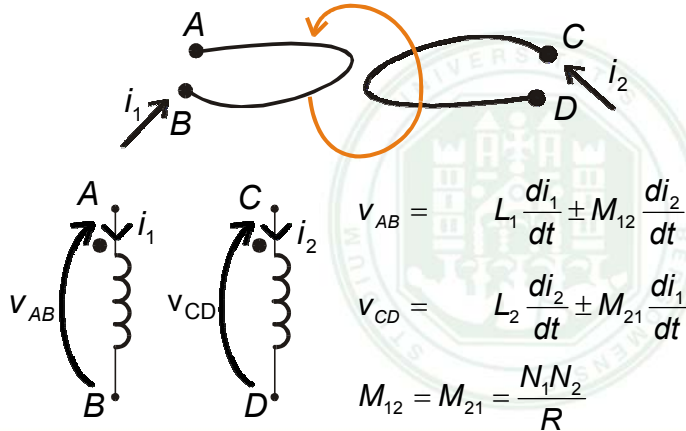
Induzione elettromagnetica UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO Facoltà di Ingegneria

Induttanza

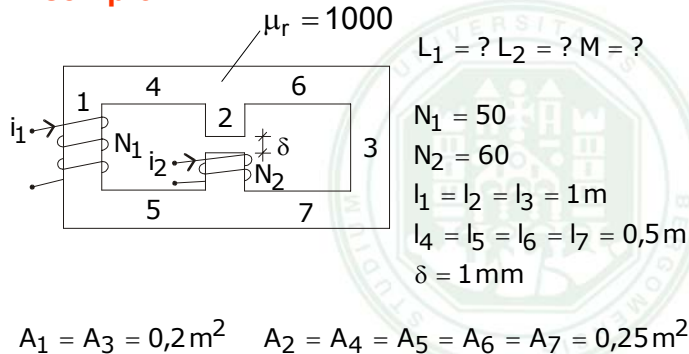
$$v = L \frac{di}{dt}$$

Henry H

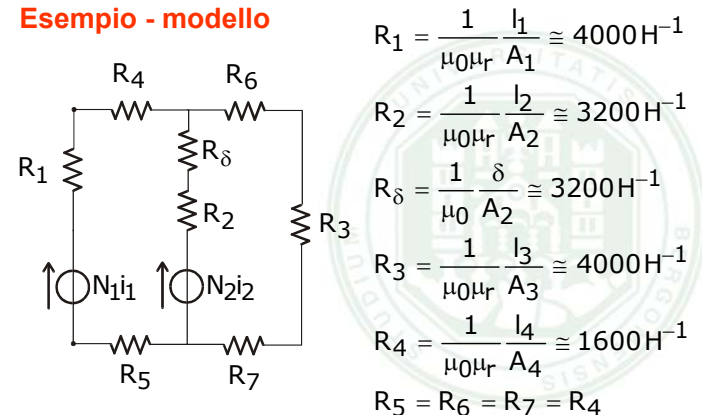
Corso di Elettrotecnica NO - Capitolo 3 - Rappresentazione e Analisi circuiti magnetici



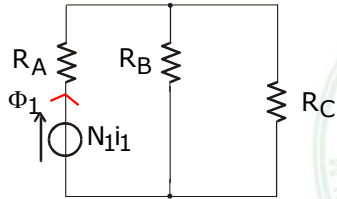
Esempio



Esempio - modello



Esempio – L1



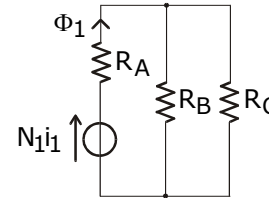
$$R_A = 7200 \text{ H}^{-1}$$

$$R_B = 6400 \text{ H}^{-1}$$

$$R_C = 7200 \text{ H}^{-1}$$

$$\frac{N_1^2}{R_{eq}} = \frac{\Phi_{C11}}{i_1} = L_1$$

Esempio – L1



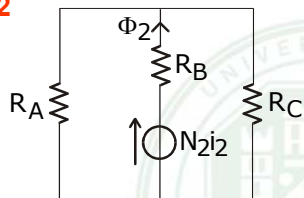
$$\Phi_{C11} = N_1 \Phi_1 \quad \Phi_1 = \frac{N_1 i_1}{R_{eq}}$$

$$\Phi_1 = \frac{N_1 i_1}{10600}$$

$$R_{eq} = R_A + \frac{R_B R_C}{R_B + R_C} = 10600 \text{ H}^{-1} \quad \Phi_{C11} = \frac{N_1^2 i_1}{10600}$$

$$L_1 = \frac{N_1^2 i_1}{10600 i_1} = 0,236 \text{ H}^{-1}$$

Esempio – L2

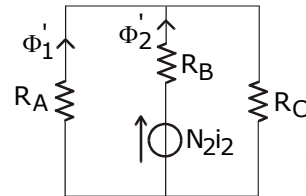


$$L_2 = \frac{\Phi_{C22}}{i_2} \quad \Phi_{C22} = N_2 \Phi_2 \quad \Phi_2 = \frac{N_2 i_2}{R_{eq}}$$

$$R'_{eq} = R_B + \frac{R_A R_C}{R_A + R_C} = 10000 \text{ H}^{-1} \quad \Phi_2 = \frac{N_2 i_2}{10000}$$

$$L_2 = \frac{N_2^2 i_2}{10000 i_2} = 0,36 \text{ H}$$

Esempio – M12

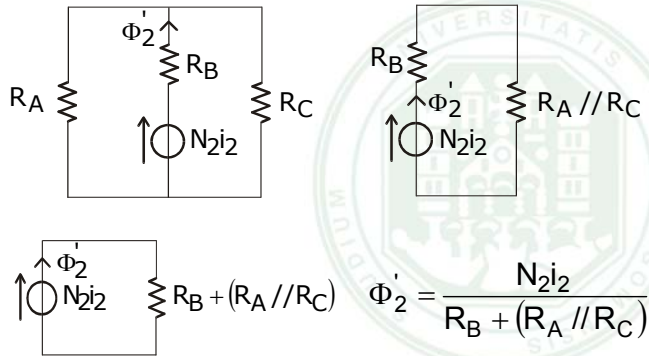
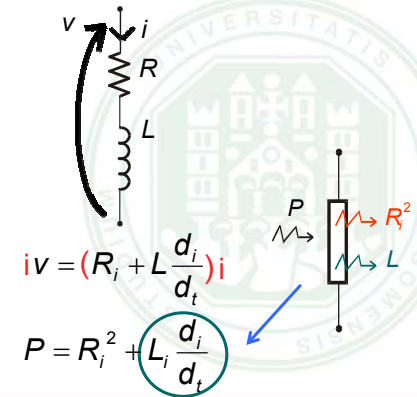
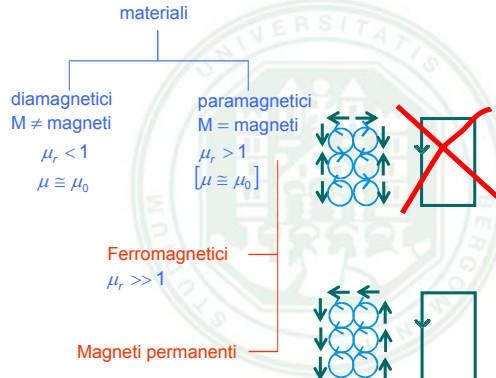
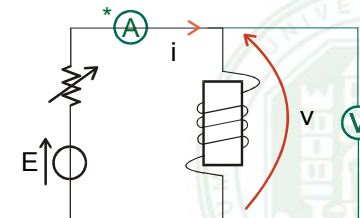


$$M_{12} = \frac{N_1 N_2}{R_{eq}} = \frac{\Phi_{C12}}{i_2}$$

$$\Phi_{C12} = N_1 \Phi_1' \quad \Phi_2' = \frac{N_2 i_2}{R'_{eq}} = \frac{N_2 i_2}{10000}$$

$$\Phi_1' = -\Phi_2' \frac{R_C}{R_A + R_C} = -\frac{N_2 i_2}{20000} \quad \Phi_{C12} = -\frac{N_1 N_2 i_2}{20000}$$

$$M_{12} = -\frac{N_1 N_2 i_2}{20000 i_2} = -0,15 \text{ H}$$

Esempio – M12 - Req**Potenza del campo magnetico****Comportamento magnetico della materia****Materiali ferromagnetici**

$$v = - \frac{d\Phi_{eB}}{dt}$$

$$\oint H dl = \mu_0 i$$

$$v \equiv B \quad i \equiv H \quad B = \mu H$$

