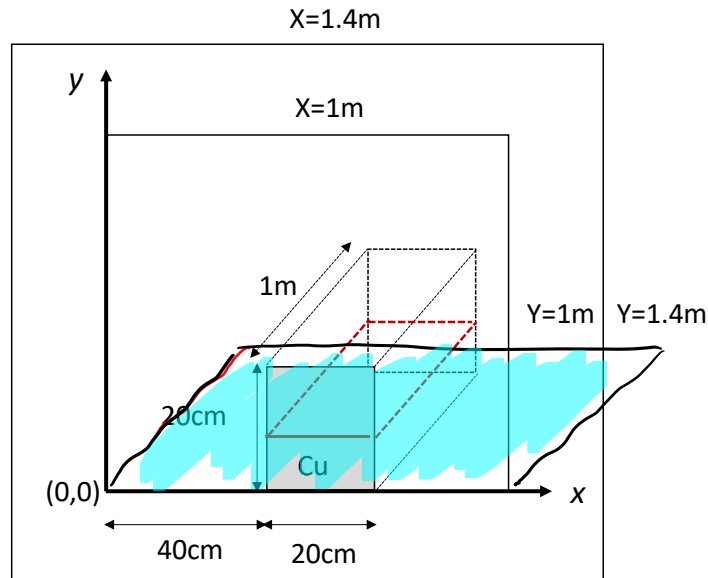


5° ESERCITAZIONE

Esercizio 1. Correnti indotte in regime sinusoidale di

barra conduttrice immersa in un campo magnetico uniforme variabile nel tempo con legge sinusoidale,



- **Materiali:** $\sigma_{\text{rame}} = 5.8e7 \text{ S/m}$
- **Forzanti:** Induzione uniforme di direzione verticale alla barra pari a 1T, $f=50\text{Hz}$
Il vettore potenziale magnetico da assegnare è:
 $A=1 \text{ Wb/m}$ sull'asse $x=0$ e $A=0 \text{ Wb/m}$ sull'asse $x=1\text{m}$

Studiare il campo nei seguenti

caso 1) corrente nulla e barra non conduttrice

caso 2) corrente nulla e barra conduttrice

caso 3) corrente sinusoidale: 5000 A, $f=50 \text{ Hz}$ e fase 0 nella barra conduttrice

Per i 3 casi negli istanti $t=0$, $t=0.02$, $t=0.2$ e $t=2$

- ✓ *Mappare le linee equiflusso dell'induzione magnetica*
- ✓ *Mappare l'ampiezza del vettore induzione magnetica e del vettore densità di corrente*

Per il caso 2 e 3 all'istante $t=2 \text{ s}$

- ✓ *Calcolare la densità di corrente massima e minima di lungo una linea che taglia il conduttore nella direzione x in due parti uguali 1 (in rosso nel disegno)*
- ✓ *Calcolare la potenza specifica dissipata per effetto Joule*
- ✓ *Calcolare il modulo del flusso di induzione magnetica nello spessore della barra (percorso 1).*

Caso 2)

Jmin [A/m ²]	Jmax [A/m ²]	Pdiss. [W]	Φ [Wb]

Caso 3)

Jmin [A/m ²]	Jmax [A/m ²]	Pdiss. [W]	Φ [Wb]

IMPOSTAZIONE DEL MODEL WIZARD

- Scelta della dimensione della geometria: **Select Space Dimension**) → 2D
- Scelta del modello fisico: **Add Physics** → AC/DC → Magnetic Fields(mf)
L'interfaccia di **Magnetic Fields** (mf) ha le equazioni, condizioni al contorno, e sorgenti (le correnti esterne) per la modellazione di campi magnetici, il potenziale vettore magnetico è variabile dipendente. La caratteristica principale è di legge di Ampère, che aggiunge l'equazione per il potenziale vettore magnetico e fornisce un'interfaccia per la definizione della relazione costitutiva e le sue proprietà associate quali la permeabilità relativa
- Tipo di studio: **Select Study Type** → **Preset Studies** → **Time Dependent**.

PREPROCESSING

Definizione dei parametri

In **Global definition** si possono definire *parametri, variabili o funzioni* che potranno poi essere richiamati in una qualunque fase della compilazione del software (at all levels in the Model Builder).

- Cliccare con il tasto destro su **Global Definitions** e selezionare **Parameters**, inserire i parametri definiti come nella seguente tabella:

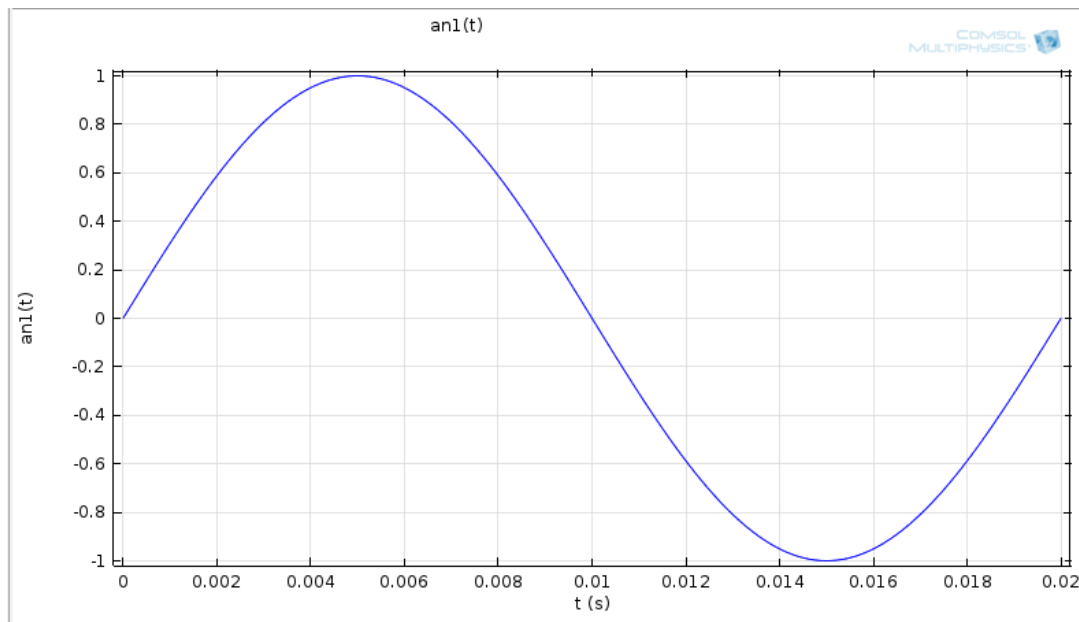
NAME	EXPRESSION	DESCRIPTION
I0	0 [A] (cambiare il valore in 5000 per la terza simulazione)	Corrente
ab	(20*20)[cm ²]	Sezione del conduttore
J0	I0/ab	Densità di corrente
Sigma_Cu	5.8*1e7 [S/m]	Conducibilità del rame
mu_Cu	1	Permeabilità relativa del rame
mu0	4*pi*1e-7[H/m]	Permeabilità dell'aria
phase	0	Fase della corrente

Cliccare con il tasto destro su **Global Definitions**, selezionare **function** → **analytic** scrivere le funzioni sinusoidali che definiscono le forzanti: l'induzione $B(t)$ e la densità di corrente $J(t)$:



The screenshot shows the 'Analytic' function definition window in COMSOL. The 'Nome della funzione' field contains 'an1'. The 'Espressione' field contains the formula $1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t)$. The 'Argomenti' field contains 't'. The 'Derivate' dropdown is set to 'Automatico'. The 'Unità' section shows 'Argomenti' as 's'. The window has several expandable sections: 'Estensione periodica', 'Unità', 'Opzioni avanzate', and 'Parametri di plotting'.

Si può poi visualizzare la funzione graficamente, se plottiamo tra 0 e 0.02 otteniamo il seguente risultato:



xi Analitico

Nome della funzione:

Parametri

Espressione:

Argomenti:

Derivate:

Estensione periodica

Unità

Argomenti:

Funzione:

Opzioni avanzate

Parametri di plottaggio

visualizzare la funzione graficamente

Cliccando con il tasto destro su **Global Definitions** e selezionando **Variables**, si definiscono le variabili funzione del tempo:

Settings

Variables

Label: Variabili 1

Variables

Name	Expression	Unit	Description
time	t	s	tempo
B1	an1(t) [T]	T	campo
J1	an2(t) [A/m^2]	A/m ²	densità di corrente
A1	an1(t) [Wb/m]	Wb/m	potenziale vettore

↑ ↓ ☰ 📄 📁

Name:

Expression:

Description:

Disegno della geometria

Andare su **Geometry** per modellare la geometria riportata nel disegno.

- Sul **Settings** di **Geometry**, nel campo **Length Unit** si imposta l'unità di misura del modello in centimetri.
- Dopodiché si costruiscono:

- La barra conduttrice: un quadrato di dimensione 20, con posizione in Corner $x=40, y=0$.
- la regione d'aria interessata dal campo: un quadrato di dimensione 100, con posizione in Corner $x=0, y=0$
- contorno della regione d'aria interessata dal campo: Un quadrato di dimensione 140, con posizione in Corner $x=-20, y=-20$

➤ **Build all -> Form union**

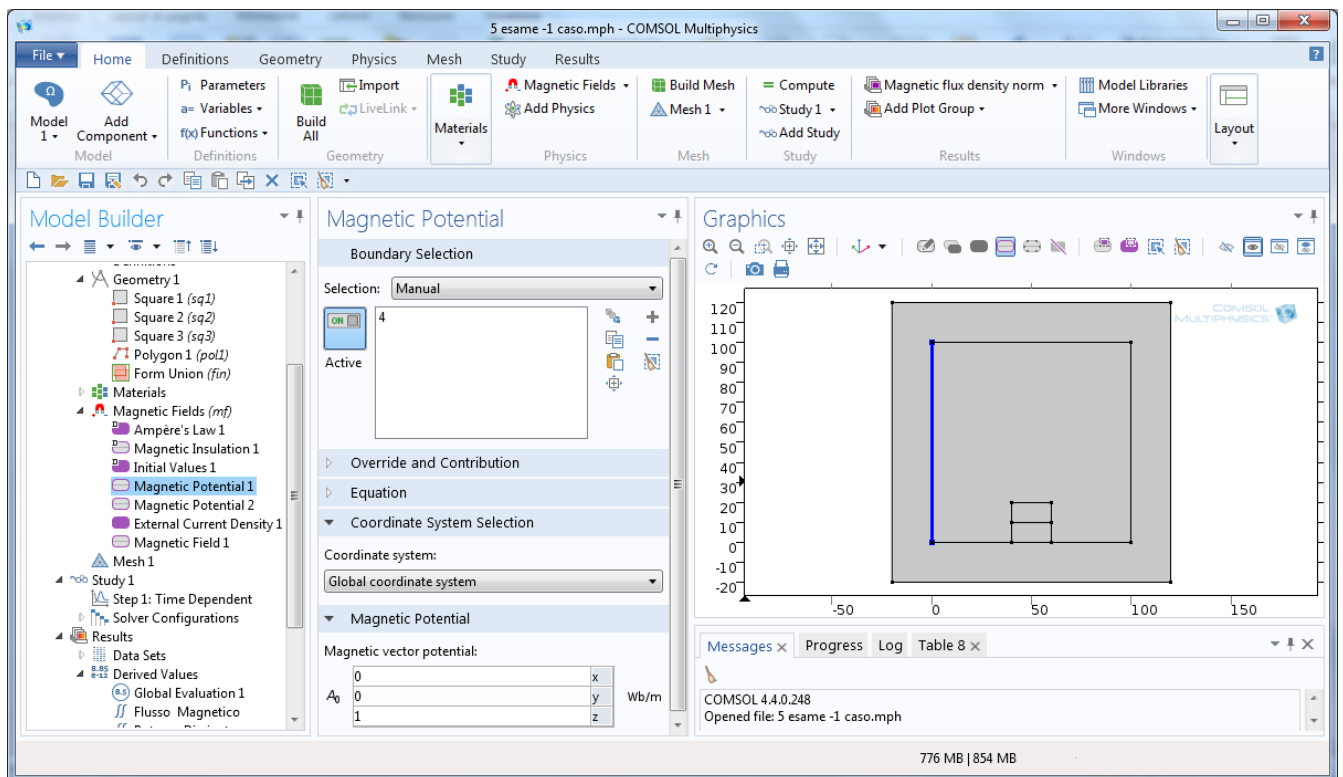
Assegnazione dei materiali

- Assegnare i materiali: rame (come conduttore) e/o aria (come non conduttore) a seconda del caso che si sta studiando

Physics setting

Andare su **Magnetic Fields** per assegnare le condizioni al contorno e le sorgenti.

- **Magnetic Insulation**, definita di default, è assegnata ai bordi del dominio più esterno
- **External current density**, questa condizione assegna corrente impressa nella barra, che nel nostro esercizio assumerà il valore 0 e il valore 5. Nel campo **Selection**, si seleziona il dominio relativo alla barra, mentre nel campo **External Current Density** impostiamo la densità di corrente lungo l'asse z
- **Magnetic Potential 1**; in **Boundary Selection** aggiungere il contorno a $x=0$, assegnare il valore di 1 lungo la direzione z , corrispondente ad $A_z=1$.



- **Magnetic Potential 2**, dove in **Boundary Selection** si imposta il contorno $x=100$, assegnare il valore 0 lungo tutta l'asse z , corrispondente ad $A_z=0$, quindi basta lasciare impostati tutti i valori a 0 come da default.

Study

Si definiscono le grandezze variabili nel tempo, impostando lo studio in un intervallo temporale da 0 a 2 s , con uno step temporale di 0.005 s.

Step 1: tansient → Study setting → Times Study setting: $range(0,0.005,2)$

generazione della mesh

- Assegnare una mesh guidata dalla fisica

SOLVE

- Mandare in esecuzione la simulazione

POSTPROCESSING

Proseguire eseguendo **Study** per ciascuno dei tre casi, dopo aver impostato in **Global Definitions** i parametri relativi a ciascun caso:

1. Corrente nulla nella barra non conduttrice: in **Parameters** impostare la **I0=0** e **phase=0**
2. Corrente nulla nella barra conduttrice: in **Parameters** impostare la **I0=0** e **phase=0**
3. Corrente di 5000 [A], $f=50$ Hz e fase 0° nella barra conduttrice: in **Parameters** impostare la **I0=5000** e **phase=0**

PARTE I

Mappa delle grandezze di campo per $t=0$, $t=0.02$, $t=0.2$ e $t=2$. Cambiare il tempo di visualizzazione nella finestra di setting del plot 2D. Per il caso 1 eseguite i punti: a, b, c. Per il caso 2 e 3, eseguite i punti: a, b, c, d

- a) MAPPARE L'AMPIEZZA DEL VETTORE INDUZIONE MAGNETICA come nelle precedenti esercitazioni.
- b) MAPPARE LE LINEE EQUIFLUSSO come nelle precedenti esercitazioni
- c) MAPPARE LE LINEE EQUIFLUSSO DELLA DENSITA DI CORRENTE
 - results → **2Dplot group**, dare un nome alla label. Tasto destro sulla nuova label → **surface** in **Expression** → **Magnetic field** → **Current and Charge** → **Current density** → **norm (mf.normJ)** → plot. Ripetere il plot per diversi istanti temporali per vedere come varia la distribuzione della corrente nel tempo. ($t=0$, $t=0.02$, $t=0.2$ e $t=2$)
- d) MAPPARE LE LINEE EQUIFLUSSO e DELLA Componente di densità di corrente dovuta alla CORRENTE indotta
Come al punto precedente ma cambiare la grandezza: **Expression** → **Magnetic field** → **Current and Charge** → **Induce current density** → **mf.Jiz**

PARTE II calcolo delle grandezze derivate,

Solo per i casi 2 e 3, svolgere i seguenti punti per l'istante $t=2$.

- e) CALCORARE LA DENSITA DI CORRENTE MASSIMA E MINIMA DI LUNGO UNA LINEA CHE TAGLIA IL CONDUTTORE NELLA DIREZIONE X IN DUE PARTI UGUALI 1 (in rosso nel disegno):

- Si disegna un percorso dove poter calcolare il flusso magnetico e vedere l'andamento della densità di corrente. **Geometry** → **Polygon**, nel **Settings** occorre impostare le coordinate (40,10) (60,10).
 - **Derivate Values** → **Maximum** → **Line Maximum**. In Selection si imposta il percorso sopra definite (potrebbe essere necessario rilanciare il solver). In **Expression** → **Magnetic field** → **Current and Charge** → **Current density norm (mf.normJ)** → **Compute**. Compiono nella finestra di **Results** i valori per ogni step di simulazione.
 - Ripetere la procedura al punto sopra per valutare il valore minimo.
- f) CALCORARE IL CONTRIBUTO MASSIMO E MINIMO ALLA DENSITA DI CORRENTE DOVUTA ALLE FENOMENO DELLE CORRENTI INDOTTE, DI LUNGO UNA LINEA AL PUNTO PRECEDENTE
- Come nel punto precedente, ma cambiare la grandezza: **Expression** → **Magnetic field** → **Current and Charge** → **Induce current density** → **mf.Jiz**
- g) CALCOLARE LA POTENZA DISSIPATA PER EFFETTO JOULE
- Tasto destro su **Derived Values** → **Surface Integration**. Nella relativa finestra di **Settings**, si imposta il dominio dove si vuole eseguire il calcolo (barra conduttrice). Da **Expression** → **Magnetic Fields** → **Heating and losses** → **Resistive losses (mf.Qrh)**, che deve essere moltiplicata per 1[m] per ottenere [W].
- h) CALCOLARE IL MODULO DEL FLUSSO DI INDUZIONE MAGNETICA NELLO SPESSORE DELLA BARRA (percorso 1).
- **Derivate Values** → **Line Integration**. Nel Settings corrispondente si imposta il percorso relativo al poligono. Da **Expression** → **Magnetic Flux density Norm (mf.normB)** moltiplicata per 1[m] per ottenere [Wb]

Poiché l'analisi è stata fatta nel dominio del tempo è possibile fare delle animazioni che consentono di visualizzare le distribuzioni spaziali delle grandezze al variare del tempo nell'intervallo di tempo: $0 \div 2$ [s], nel quale sono state calcolate le distribuzioni in istanti successivi secondo lo step stabilito: 0.005[s].

Per attivare una animazione cliccare in **Results**, tasto destro → **Export** → **Animation**:

- ✓ **scene** → **Subject** → *Magnetic Flux o Densità di corrente o densità di corrente indotta*
- ✓ **Output** → Output type → *Movie*
- ✓ **Format** → *AVI*

Export, dare nome del file dopo aver scelto la directory con il **Browse**

Frame per second → impostare il numero di immagini al secondo per avere una animazione, sequenza di immagini) più o meno veloce

In **Layout** → si può stabilire se si vuole che nella animazione compaiano:

Title

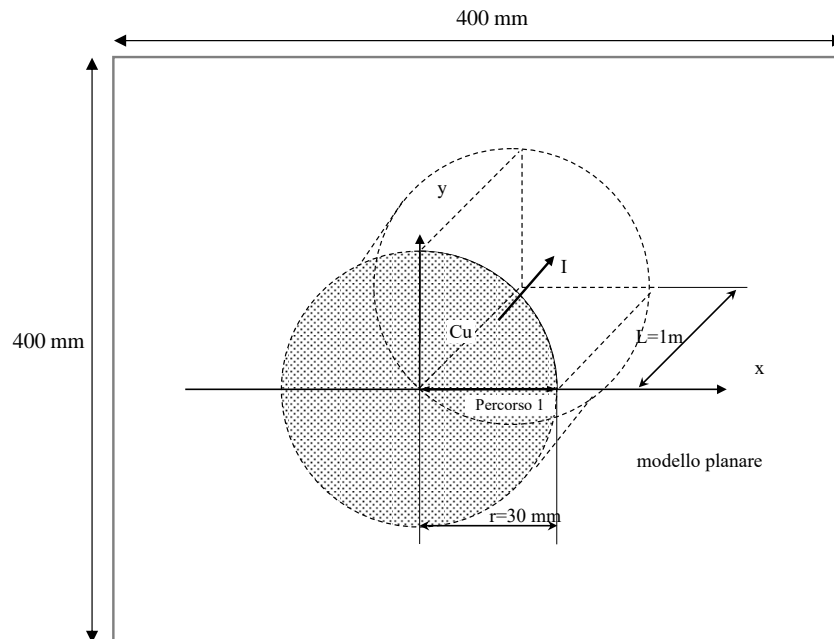
Axis

Color legend

Logotype

Il file memorizzato potrà essere facilmente visualizzato in qualunque momento cliccando direttamente sul nome del file nella directory dove è stato memorizzato.

Esercizio 2. Effetto pelle in un conduttore cilindrico indefinito con corrente impressa variabile nel tempo con legge sinusoidale



Eseguire l'analisi in regime armonico del conduttore cilindrico con le seguenti caratteristiche:

- **Materiali:** $\rho_{\text{Cu}} = 1.73 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
- **Forzanti:** corrente $i(t) = I_M \cdot \cos(\omega t)$ con $I_M = 1000 \text{ A}$ e $f = 1 \text{ MHz}$

- *Mappare le superfici e le linee equiflusso dell'induzione magnetica*
- *Mappare l'ampiezza del vettore densità di corrente totale per $t=2\text{s}$*

Lo studio venga svolto in un intervallo da 0 a 2 s, con uno step temporale di 0.01 s.