

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
«Design of in vessel pick up coils for
DTT fusion experiment»***

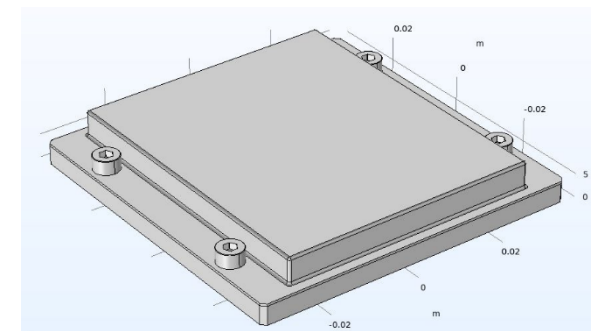
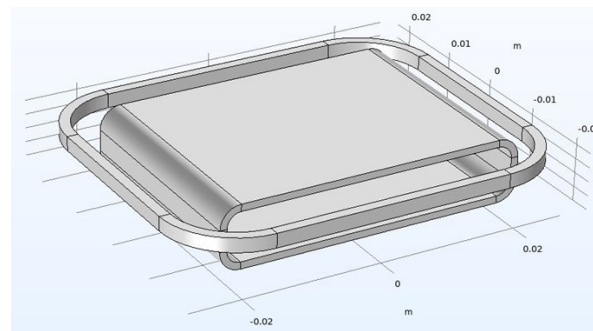
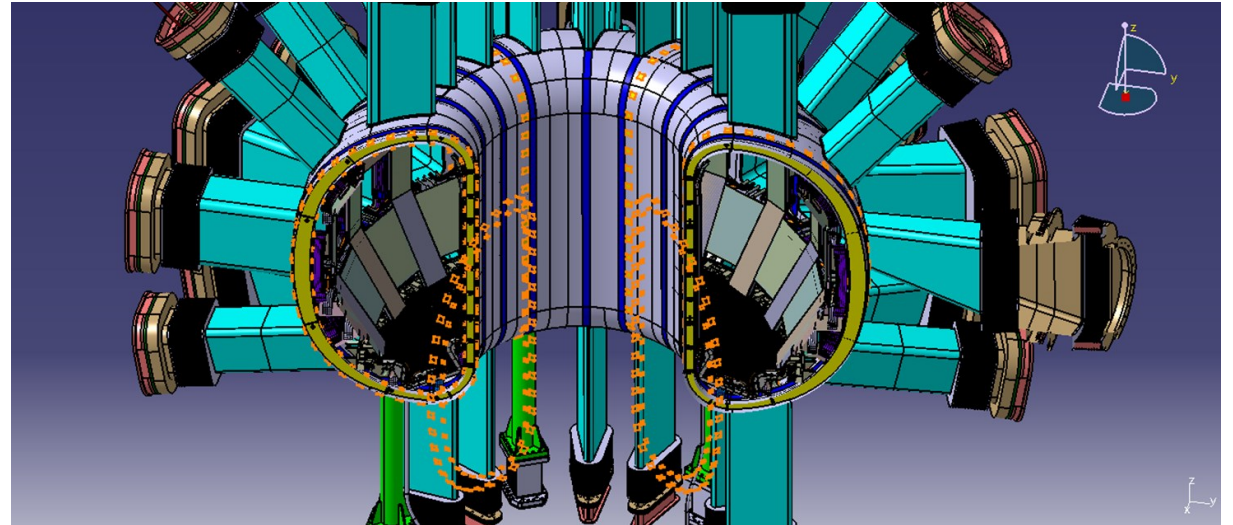
Tutor universitario: Prof. Nicolò Marconato

Laureando: Lorenzo Vendrame

Padova, 21/09/2023

Studiare delle sonde
magnetiche induttive per
misurare il campo magnetico
poloidale e radiale all'interno
del DTT.

Sonde protette dal
riscaldamento microonde da
uno schermo



Comsol multiphysics è un software per l'analisi agli elementi finiti.

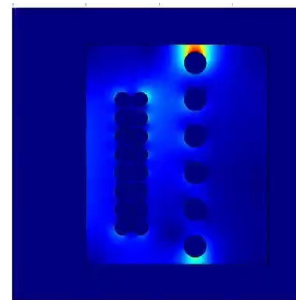
Ho utilizzato due formulazioni:

Magnetic fields

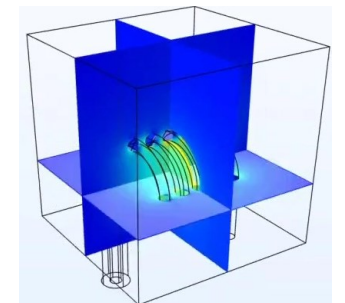
Risolve per la legge di Ampere

Formulazione più semplice

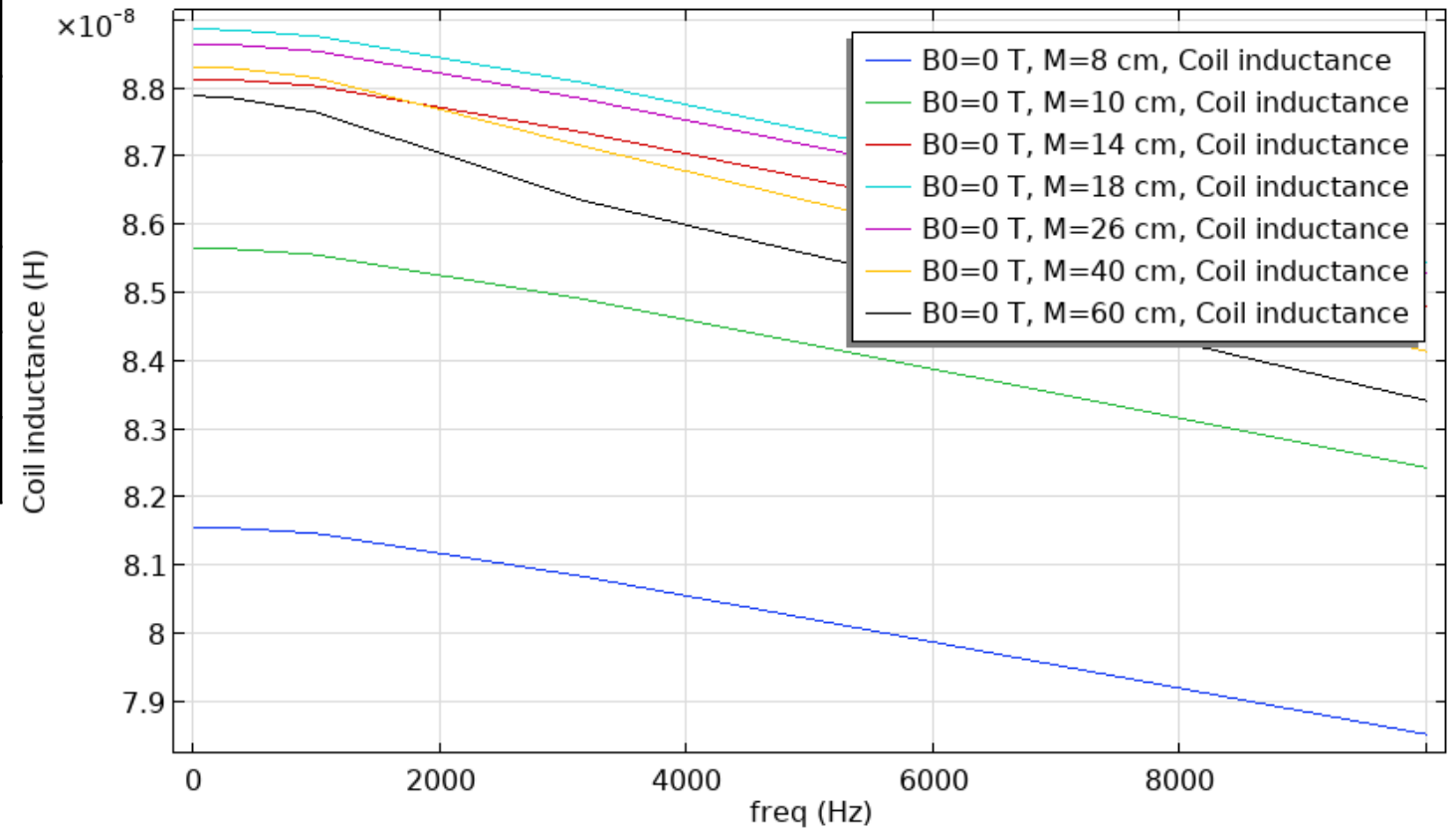
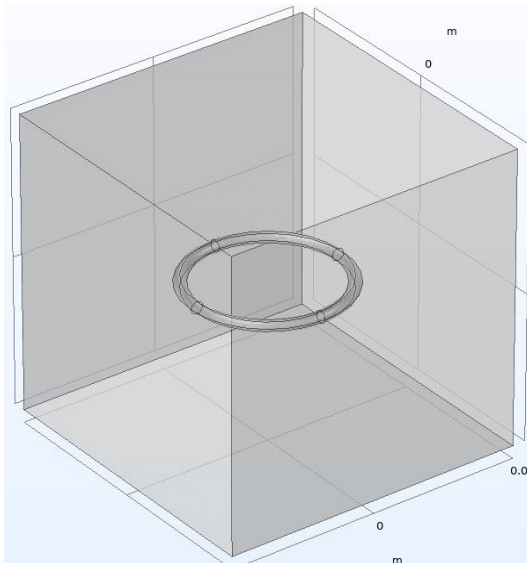
$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} \\ \mathbf{B} &= \nabla \times \mathbf{A} \\ \mathbf{J} &= \sigma \mathbf{E} + j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J}_e \\ \mathbf{E} &= -j\omega \mathbf{A}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{J} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} \\ \mathbf{B} &= \nabla \times \mathbf{A} \\ \mathbf{E} &= -\nabla V \\ \mathbf{J} &= \sigma \mathbf{E} + \sigma \mathbf{v} \times \mathbf{B} + \mathbf{J}_e\end{aligned}$$



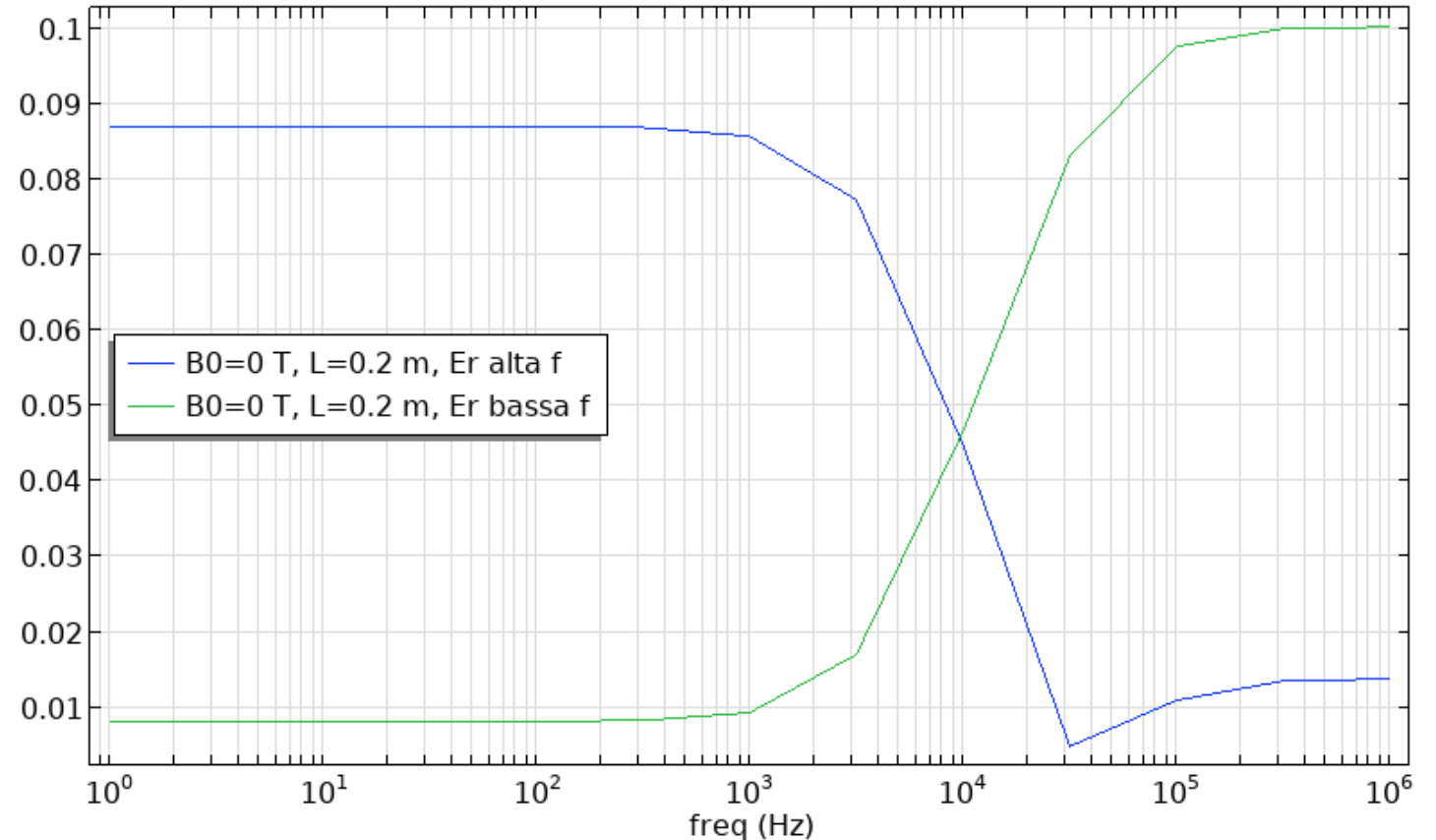
D	50[mm]
d	4[mm]
I	1[A]
B	0[T]
f	$10^{(0,0.5,4)}$ [Hz]
M	8, 10, 14, 18, 26, 40, 60[cm]



L'induttanza teorica per una spira toroidale è:

- $L = \mu r \left(\ln \left(\frac{8r}{R} \right) - \frac{7}{4} \right)$ per corrente omogeneamente distribuita;
- $L = \mu r \left(\ln \left(\frac{8r}{R} \right) - 2 \right)$ per corrente distribuita solo superficialmente

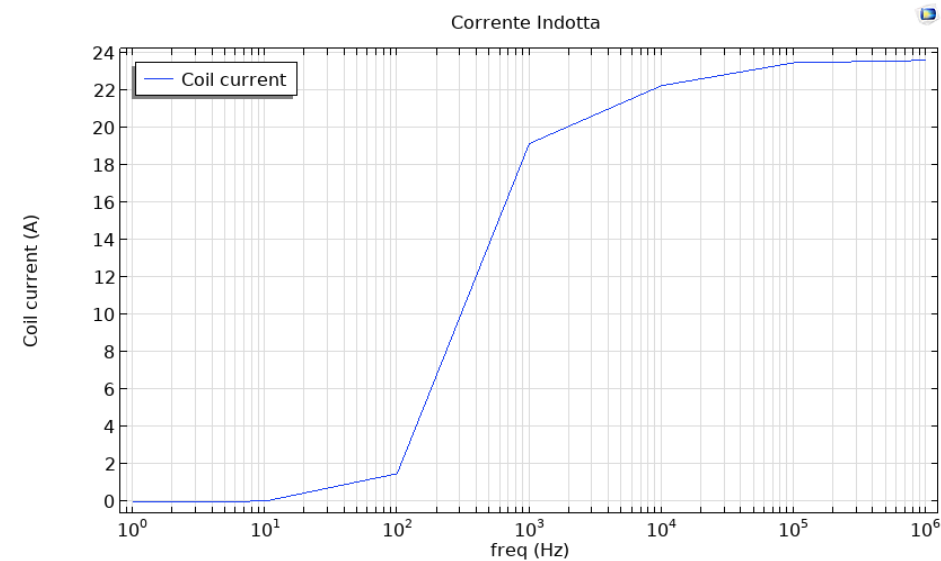
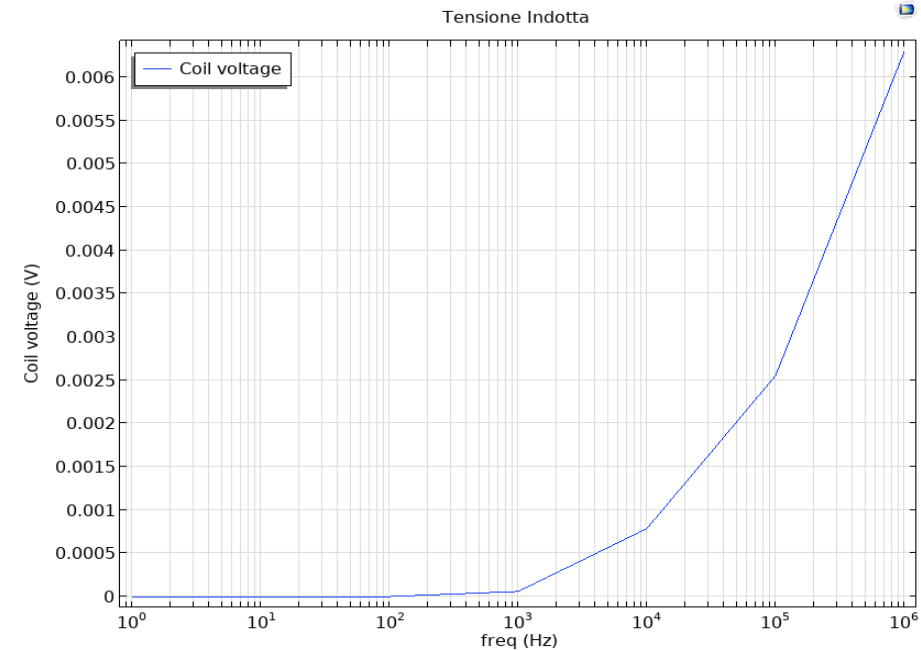
Errore relativo induttanza analitica e induttanza modello



Impongo un campo di induzione magnetica uniforme di fondo diverso da 0.

Calcolo la tensione indotta ponendo la spira come circuito aperto.

Calcolo la corrente indotta ponendo la spira come cortocircuito.

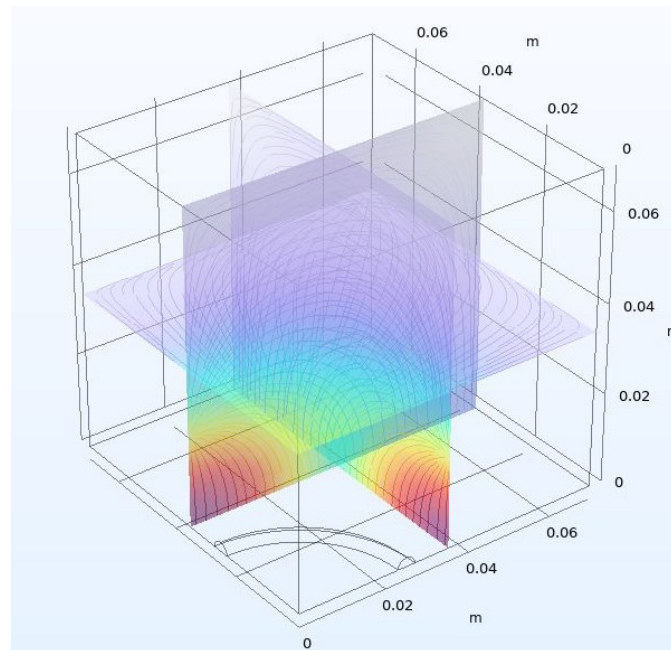


Per ridurre la dimensione del sistema si possono sfruttare le simmetrie.

Bisogna imporre due diverse condizioni di bordo:

- $n \times A = 0$ «Magnetic insulation»;
- $n \times H = 0$ «Perfect Magnetic Conductor».

Aggiustare Induttanza e tensione indotta con fattore moltiplicativo.

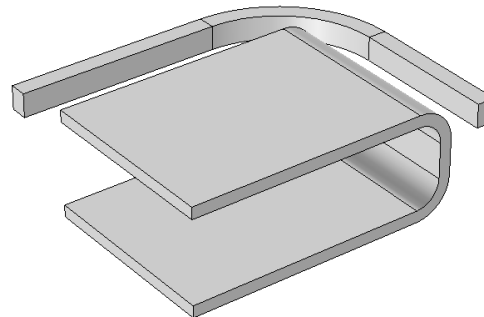
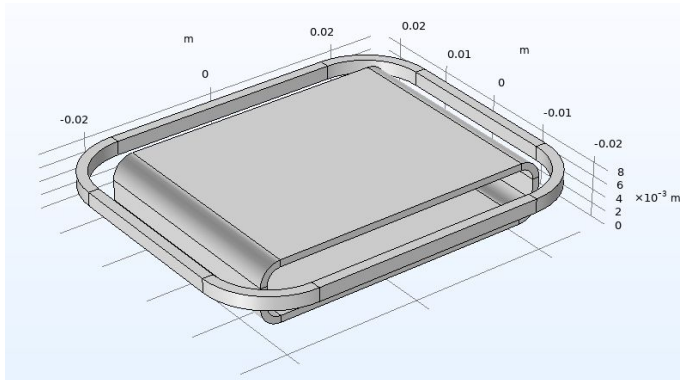


Ho analizzato la geometria reale dividendola in:

- Spira che raccoglie il campo di induzione magnetica radiale
- Spira che raccoglie il campo di induzione magnetica poloidale

Usiamo un quarto di geometria sfruttando le simmetrie.

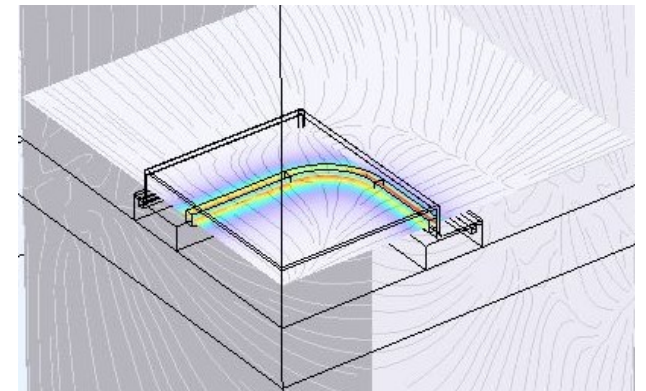
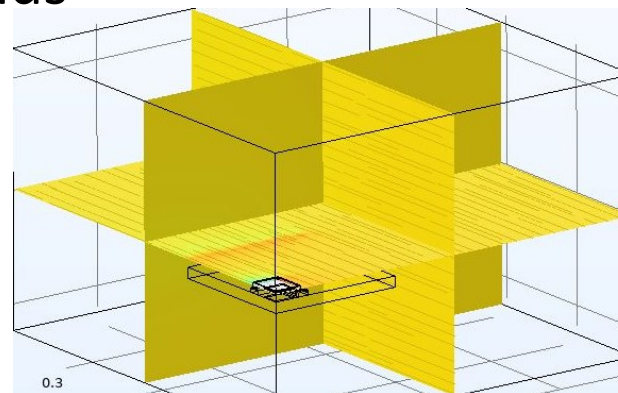
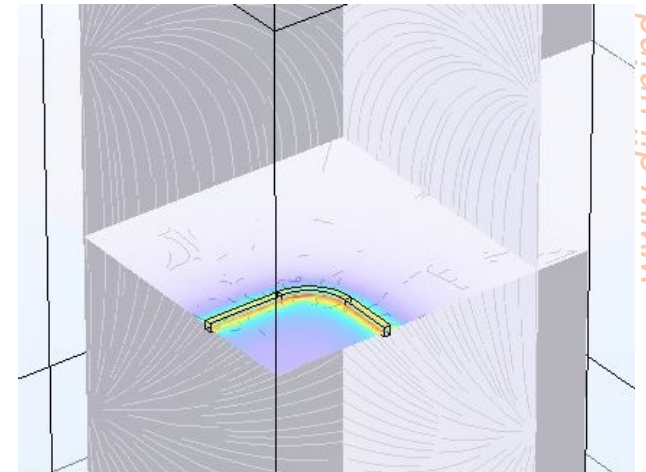
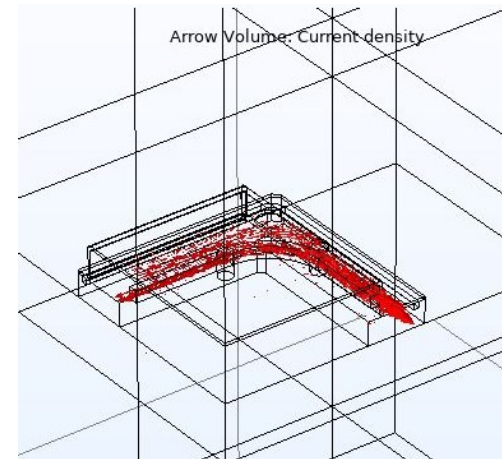
Introduciamo l'area efficace $A_{eff} = \frac{V}{\omega B_{ext}}$



Ho studiato il modello in funzione della frequenza, del numero di avvolgimenti, della dimensione del volume d'aria.

Questo in diversi casi:

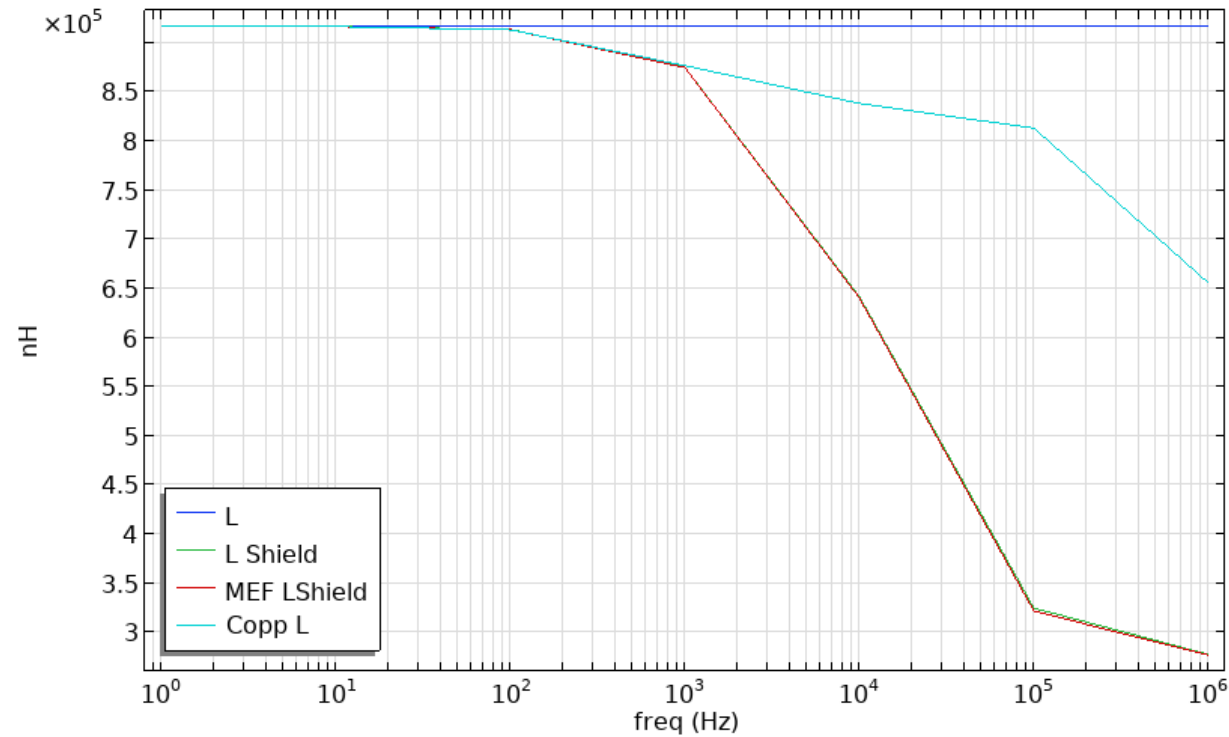
- Spira con 1[A]
- Spira trattata come circuiti aperto
- Con lo schermo
- Senza schermo
- Formulazione magnetic fields
- Formulazione magnetic an electric fields



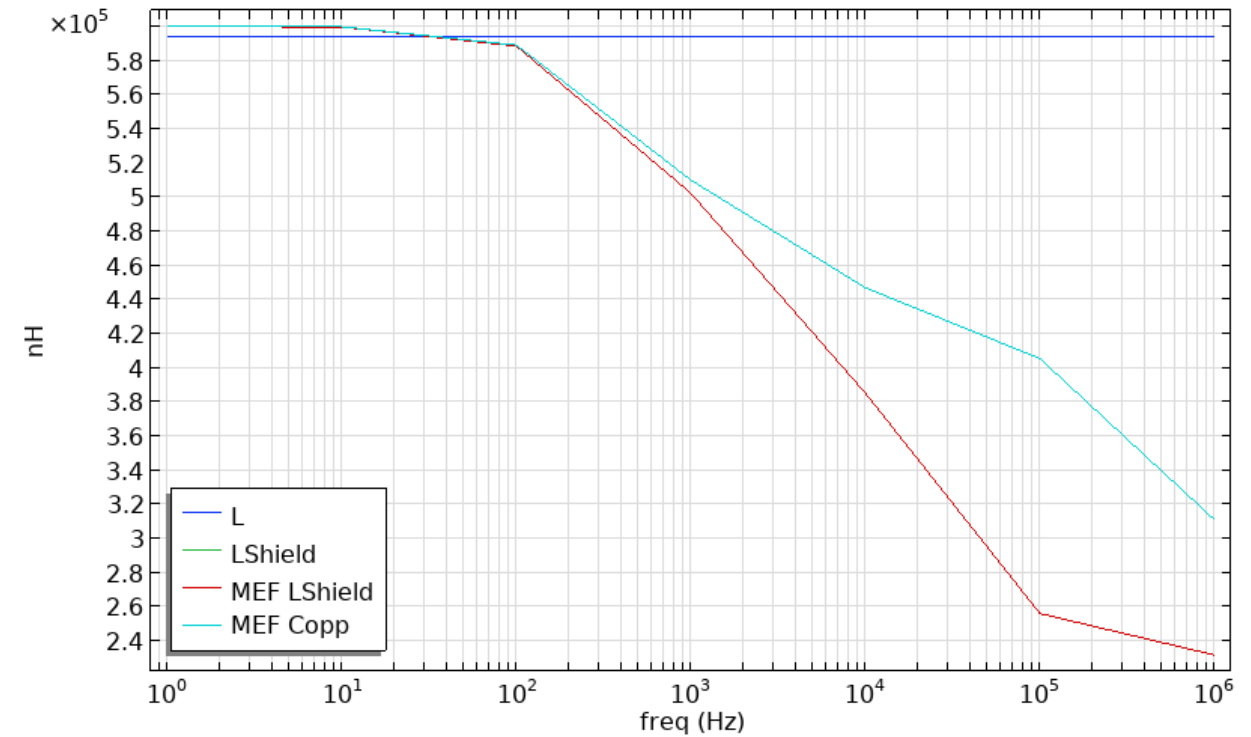
Induttanza in funzione della frequenza con e senza schermo

www.dii.unipd.it

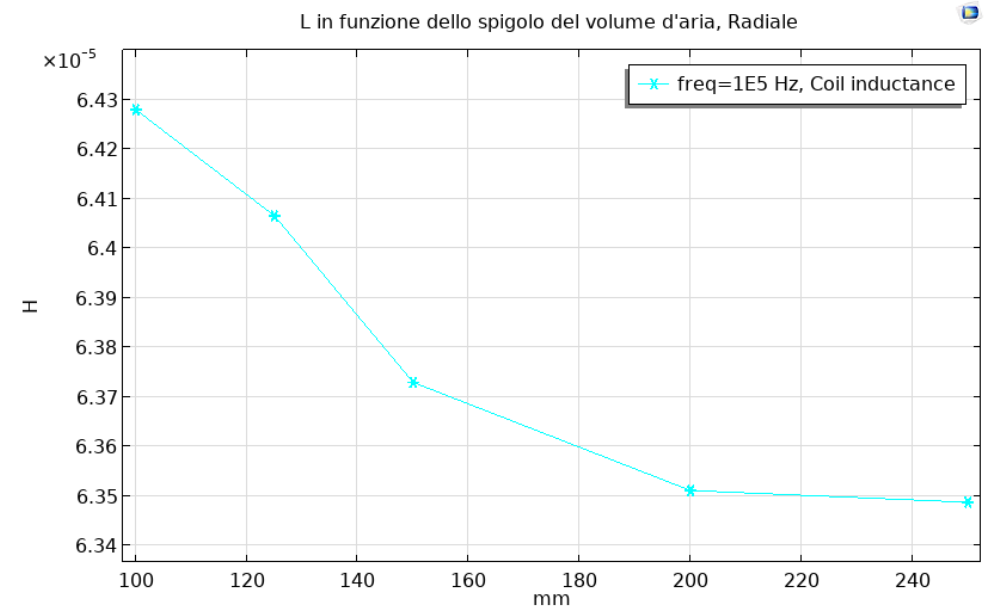
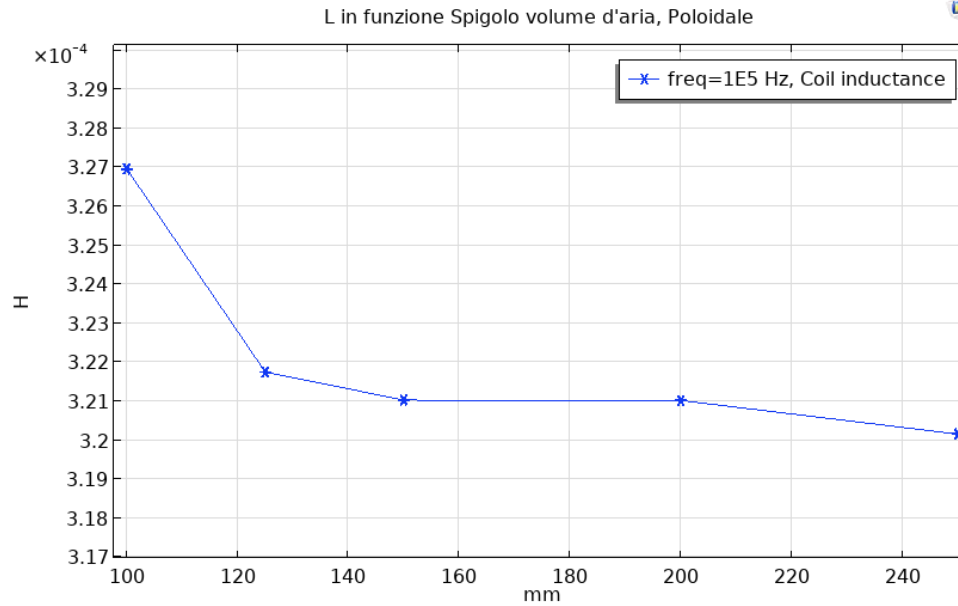
Induttanza, Poloidale



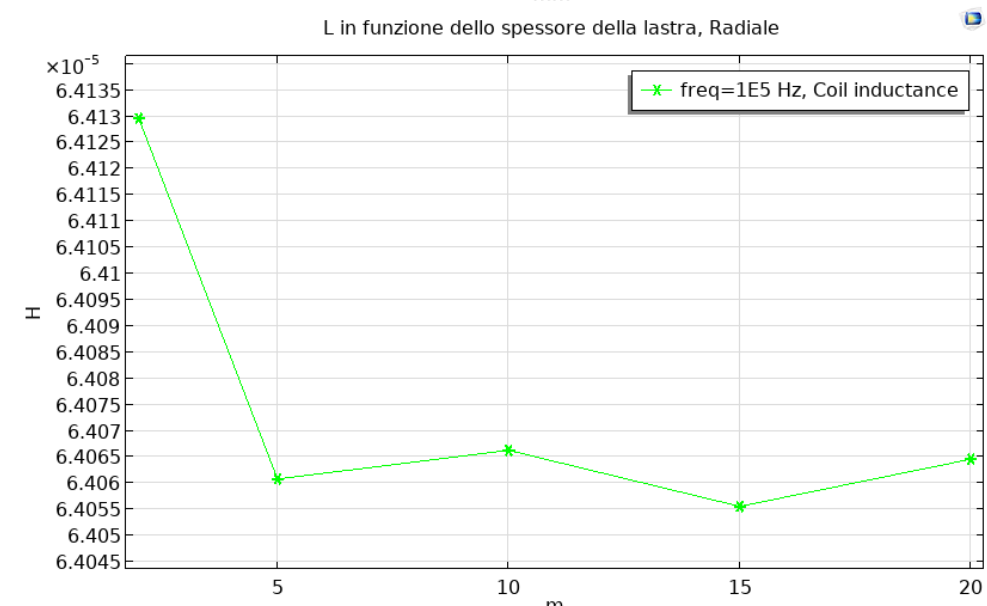
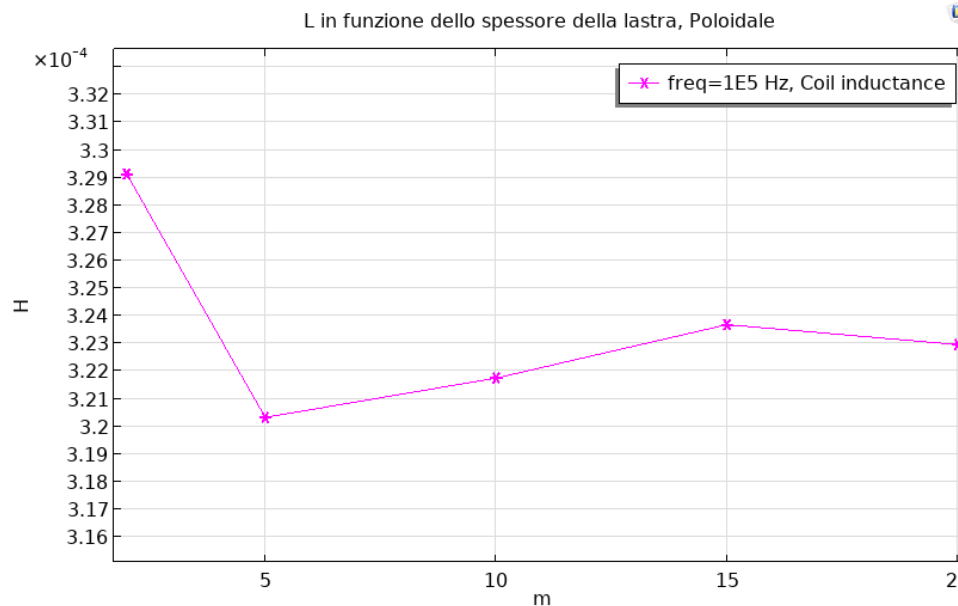
Induttanza, Radiale



Induttanza in
funzione della
dimensione del
volume d'aria

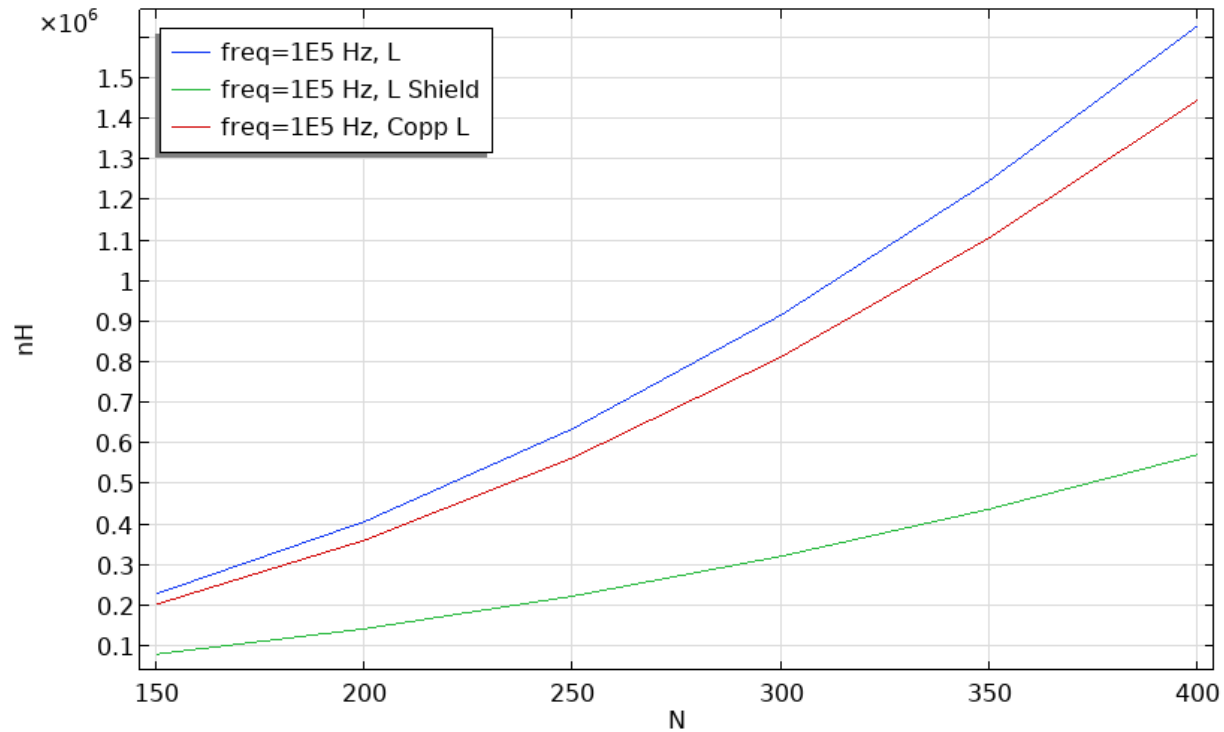


Induttanza in
funzione dello
spessore della
lastra

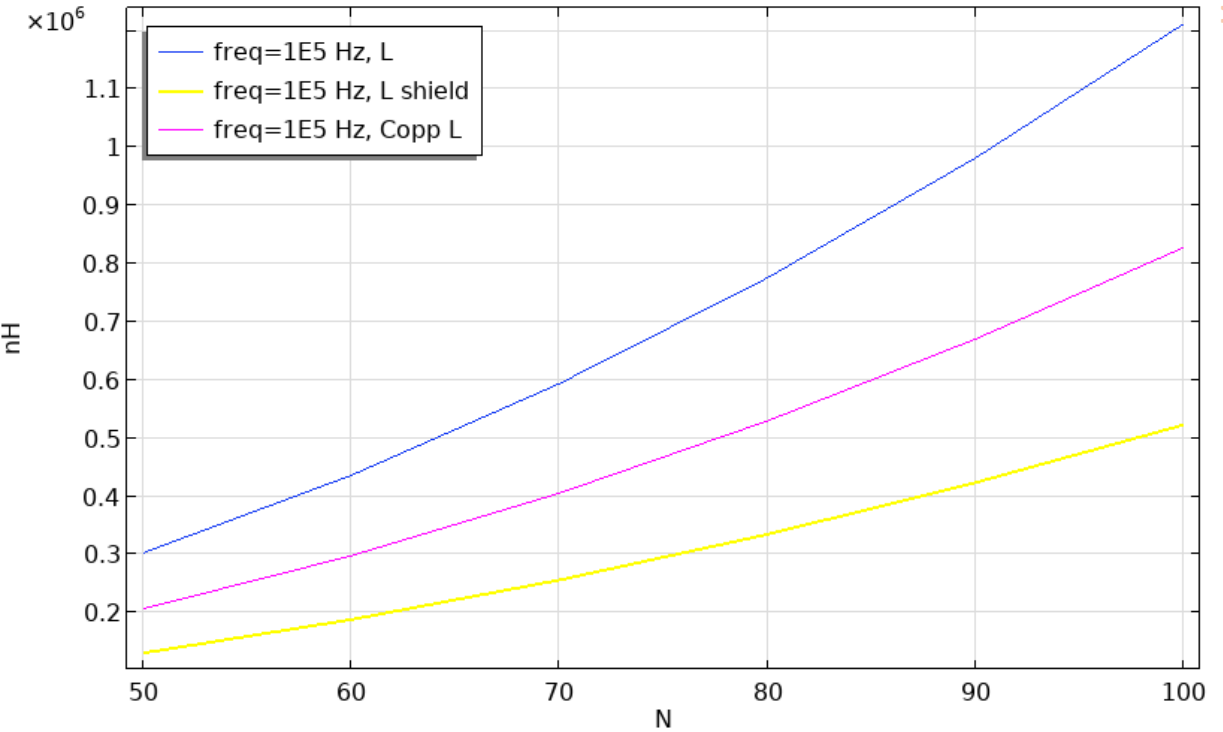


Induttanza in funzione del numero di avvolgimenti

L in funzione di N, Poloidale



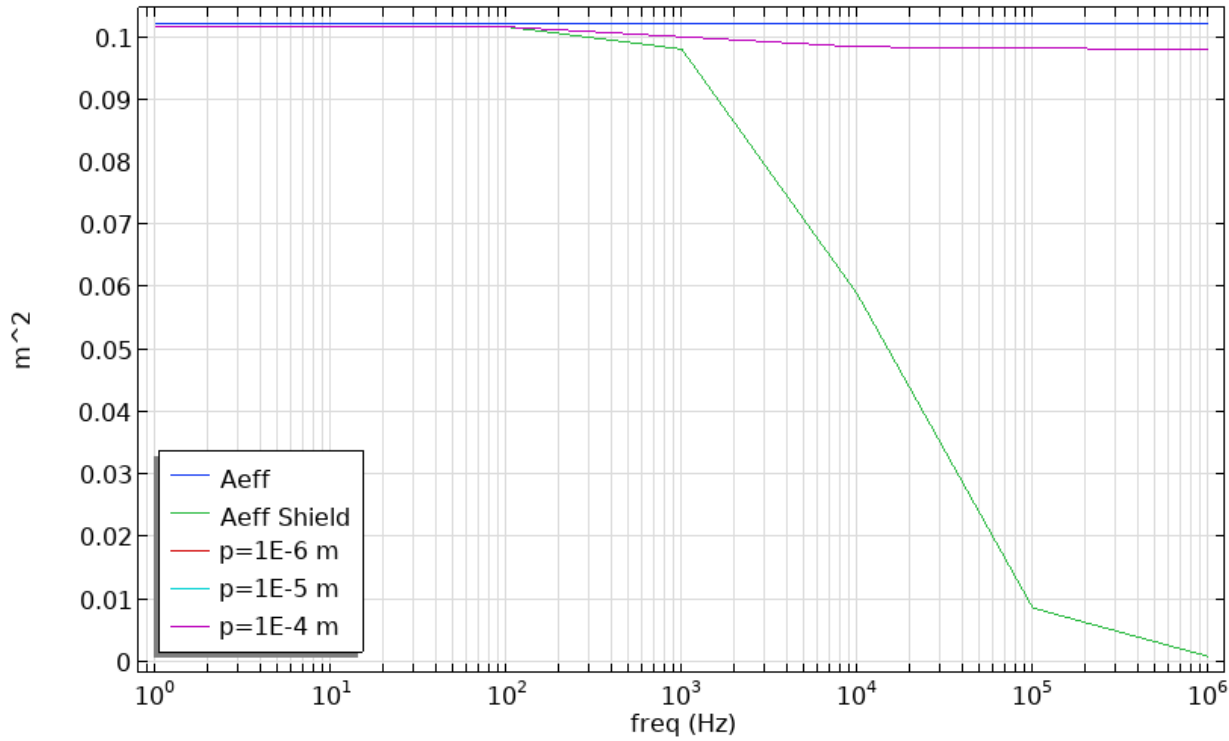
L in funzione di N, Radiale



Area efficace in funzione della frequenza

www.dii.unipd.it

Area Efficace, Poloidale



Area efficace, Radiale

