



Renzo DF (RenzoDF)

MAGNETI PERMANENTI. 2

14 April 2009

Abstract

Continuiamo in questa seconda parte quanto iniziato in [Magnet Permanenti. 1](#), attraverso due strade alternative:

- via Grafica - intersezione caratteristiche
- simulazione - via FEMM.

via Grafica

Per la risoluzione per via grafica cerchiamo semplicemente di ricavare le caratteristiche dei due bipoli magnetici

- Magnete permanente
- Fe-Si + Traferro + f.m.m.

e procedere ad un calcolo via intersezione con un altro Free Tool ; [SpeQ](#)

Scegliamo per comodità di calcolo una rappresentazione degli assi invertita ovvero cerchiamo di rappresentare entrambe le relazioni in funzione dell'induzione B_m e non del campo magnetico H_m (scelta necessaria in quanto unico parametro comune).

Per la caratteristica del MP il discorso è semplice

$$H_m = H_c \left(1 - \frac{B_m}{B_r}\right) = 860 \cdot \left(1 - \frac{B_m}{1,17}\right) \quad (1)$$

Per la serie Fe-Si +Traferro, tenendo in conto anche la **f.m.m.** dell'avvolgimento di eccitazione, del quale conosciamo però solo la corrente 5 A, ricordando che

$$\sum_{k=m,t,f} H_k \cdot l_k = N \cdot i$$

avremo

$$-H_m = H_f \frac{l_f}{l_m} + H_t \frac{l_t}{l_m} - \frac{N \cdot i}{l_m}$$

$$-H_m = H_f \frac{581}{10} + H_t \frac{1}{10} - \frac{N \cdot 5}{10}$$

$$-H_m = 58,1 \cdot H_f(B_m) + \frac{1}{10 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4}} \cdot B_m - \frac{N}{2}$$

(si ricorda che il segno meno che compare prefisso ad H_m , porta a un primo membro positivo)

Unico problema rimasto, trasformare la tabella Ferro-Silicio in una funzione; ovvero trovare

$$H_f(B_m) = H_f(B_f).$$

Per la ricerca di una funzione interpolante useremo [CurveExpert](#).

Inseriti i dati come da fig.1 (si noti come per ottenere una migliore rappresentazione nel tratto medio-alto della caratteristica, non siano stati inseriti i punti relativi a induzione

$$0 < B < 0,6 \text{ T})$$

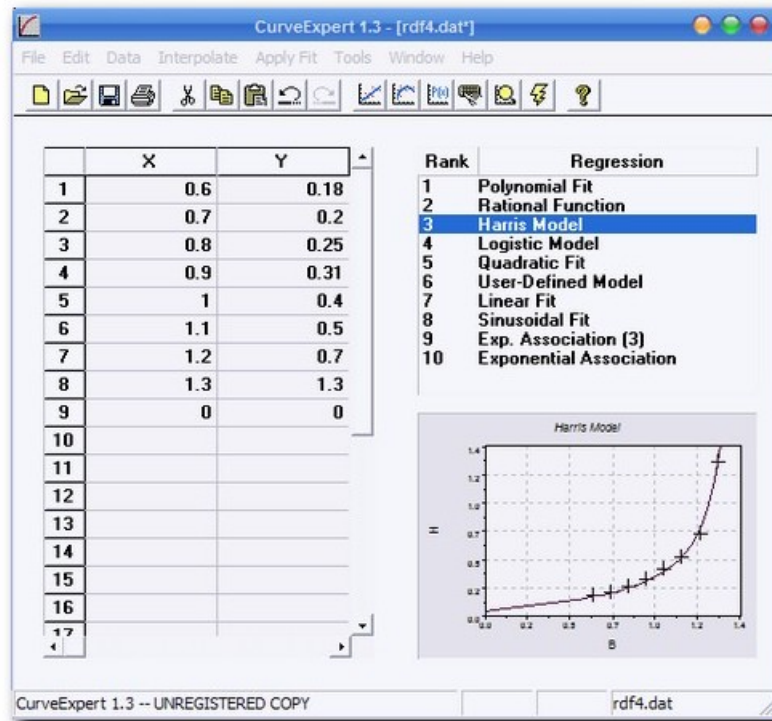


fig. 1

da un **CTRL-F** e dalla scelta di **Harris Model** fra le diverse alternative, otteniamo, dopo un aver sistemato il grafico con dest-mouse e **Graph Properties**

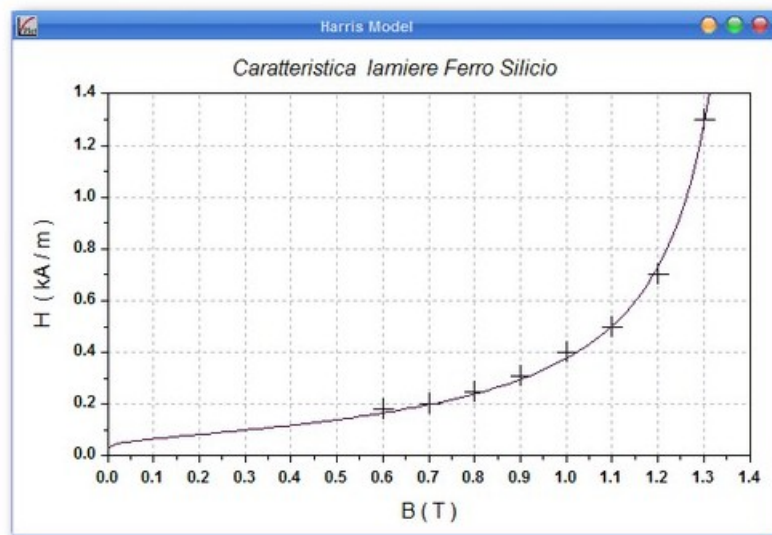


fig. 2

un destro-mouse + **Information** per aprire la finestra del modello interpolante

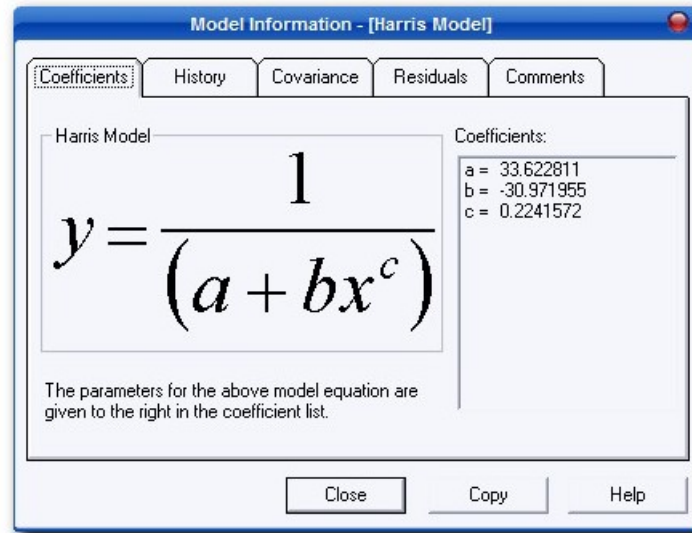
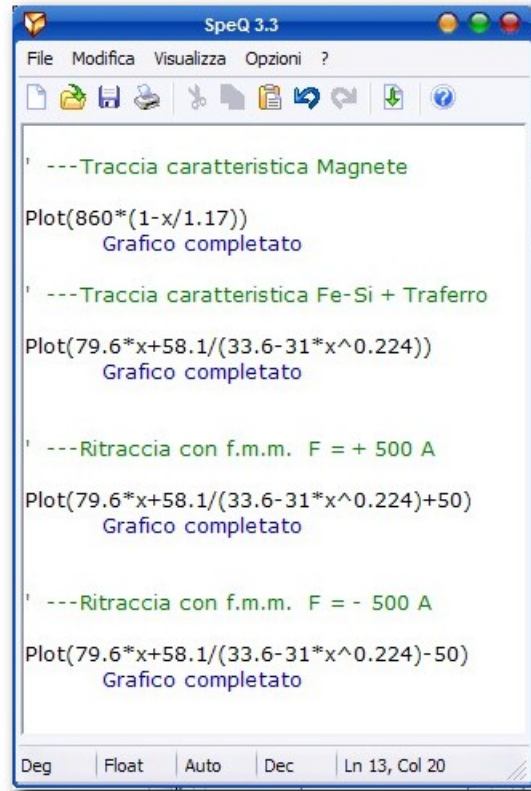


fig. 3

e ottenere tutti i dati necessari per definire la funzione cercata

$$-H_m = 79,6 \cdot B_m + 58,1 \cdot \frac{1}{33,6 - 31 \cdot B_m^{0,224}} - \frac{N}{2}$$

da quest'ultima relazione e dalla (1) inserite in SpeQ

*fig. 4*

si tracciano i grafici e si ottiene la soluzione al problema dalla loro intersezione !

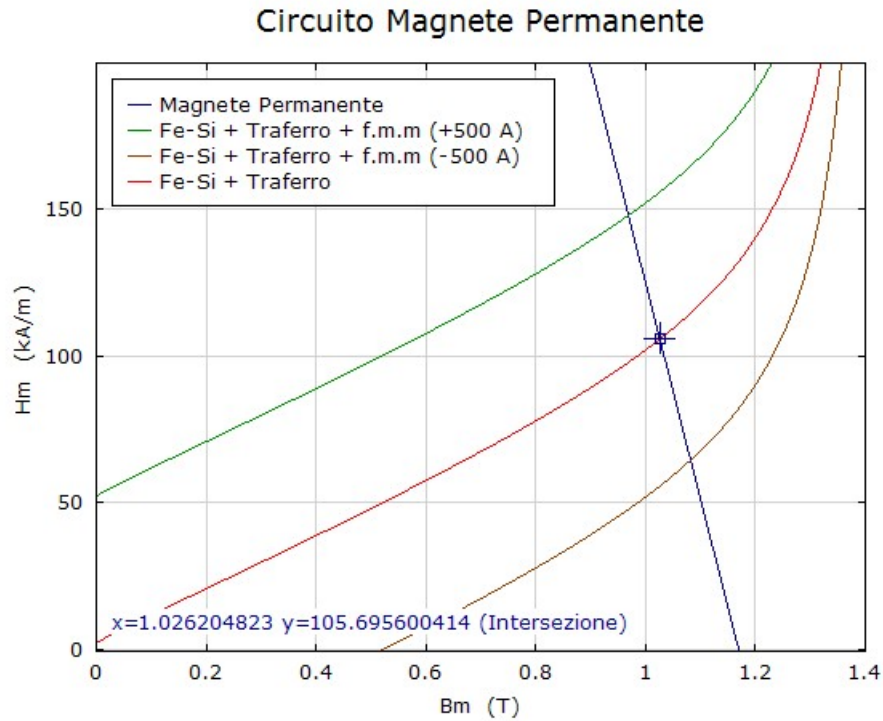


fig. 5

I risultati ottenuti

$$-H_m = 105,7 \frac{kA}{m} \quad e \quad B_m = 1,026 T$$

sono in linea con quelli valutati nella prima parte ($H_m = -107$ $B_m = 1,02$)

Dalle relazioni algebriche e dal grafico si nota come la f.m.m. addizionale, dovuta all'avvolgimento di eccitazione, porti ad una traslazione in senso verticale della caratteristica di una quantità pari al valore del rapporto fra f.m.m. e lunghezza del magnete permanente.

La vicinanza della zona di saturazione per il ferro silicio, fa prevedere che valori superiori di f.m.m. porteranno a spostamenti non simmetrici del punto di lavoro dalla condizione "di riposo".

via FEMM

Come prova sul campo dei calcoli di massima eseguiti nella prima parte dell'articolo [1], ma anche per esercitarci con questo potente software di simulazione bidimensionale di campi magneto ed elettro-statici, provvederemo:

- a costruire la geometria del circuito,
- a definire le caratteristiche dei materiali,
- ad impostare le condizioni al contorno,
- ad assegnarle alle diverse parti,
- alla simulazione finale.

Per le modalità e sequenza dettagliata dei passaggi si fa riferimento l'articolo di [admin](#) dedicato al tutorial per FEMM.

Inizieremo sempre con **File > New > Magnetics Problem**.

E' importante sottolineare che, in questo caso dovremo creare nuovi materiali o modificare gli esistenti per adattarli alla simulazione in oggetto:

a) dovremo modificare la definizione del NeFeB per il quale possiamo stimare la permeabilità relativa con

$$\mu_r = \frac{B_r}{H_c} \cdot \frac{1}{4\pi 10^{-7}} = \frac{1,17}{860000} \cdot \frac{10^6}{1,256} \simeq 1,08 \quad (1)$$

Notiamo come, curiosamente per un materiale ferromagnetico, la permeabilità relativa risulti incredibilmente bassa e vicina a quella del vuoto.

Inseriremo questo valore come anche quello del campo coercitivo nella seguente finestra materiali

Block Property

Name: NdFeB

B-H Curve: Linear B-H Relationship

Linear Material Properties

Relative μ_x : 1.08 Relative μ_y : 1.08

ϕ_{hx} , deg: 0 ϕ_{hy} , deg: 0

Nonlinear Material Properties

Edit B-H Curve ϕ_{hmax} , deg: 0

Coercivity

H_c , A/m: 860000

Electrical Conductivity

σ , MS/m: 0.694

Source Current Density

J , MA/m²: 0

Special Attributes: Lamination & Wire Type

Not laminated or stranded

Lam thickness, mm: 0 Lam fill factor: 1

Number of strands: 0 Strand dia, mm: 0

OK Cancel

fig. 6

b) per il **Ferro-Silicio**, dove dovremo inserire la tabella B-H riportata nell'articolo e che riportiamo per comodità del lettore

Caratteristica lamiera Fe-Si

B 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00 1,10 1,20 1,30 T

H 100 125 145 160 180 200 250 310 400 500 700 1200 A/m

μr 1590 1910 2200 2500 2650 2800 2550 2310 2000 1750 1360 860 --

nella finestra

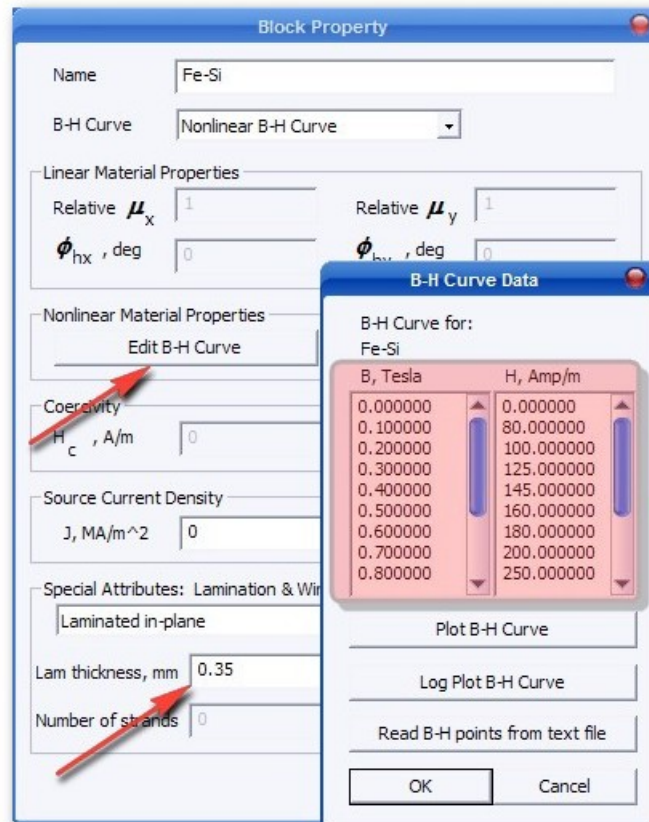


fig. 7

nella stessa finestra dovremo inserire lo spessore dei lamierini (0,35mm).

Assegnati i materiali e le condizioni al contorno possiamo passare alla simulazione

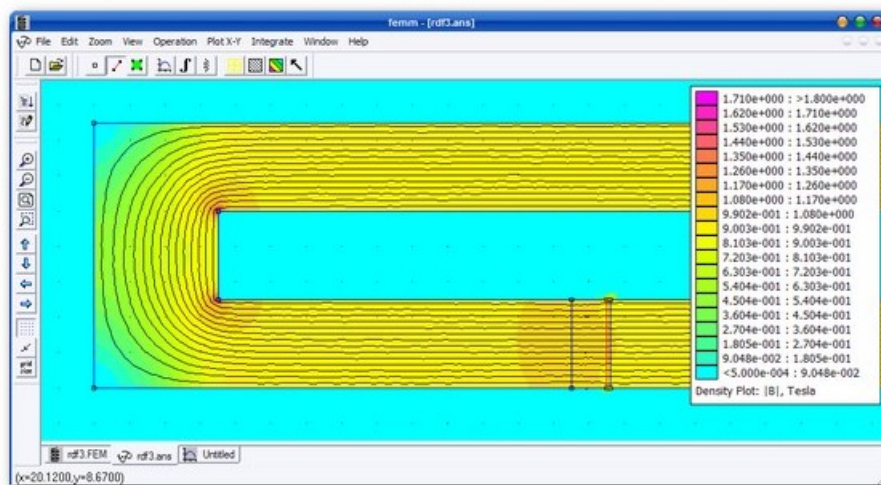


fig. 8

Passeremo quindi alla visualizzazione dell'induzione nel traferro: useremo **Operations > Contour** per tracciare un segmento sul lato sinistro del traferro (migliore per la maggior triangolarizzazione del magnete) e usando infine **Plot X-Y** otterremo

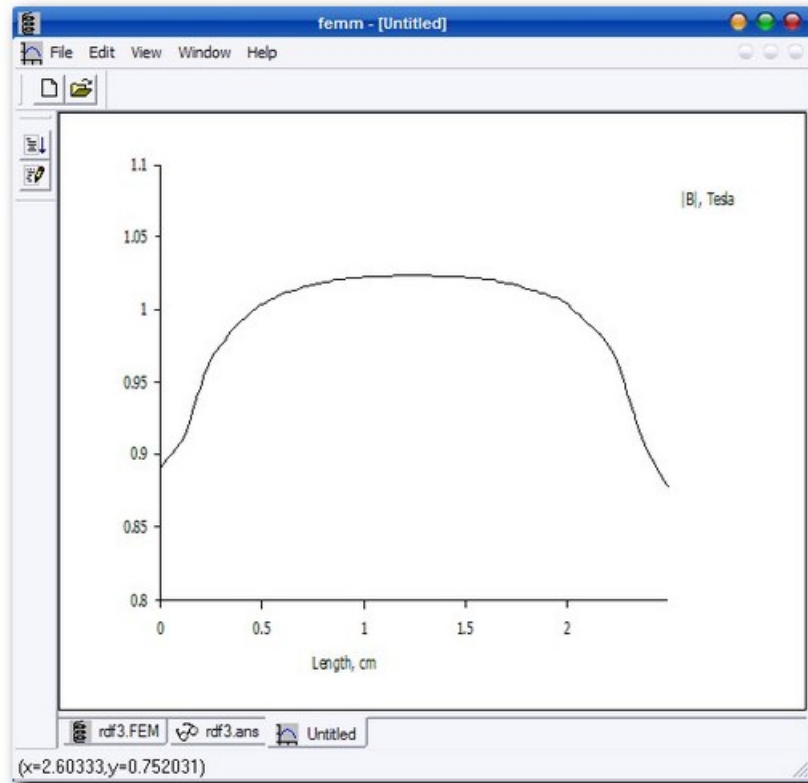


fig. 9

vediamo come i valori previsti siano corrispondenti con i valori della simulazione nella zona centrale del traferro dove $B=1,02$ T , mentre l'induzione scende in vicinanza dei bordi a valori intorno 0,9 T.

Conclusioni

I diversi metodi seguiti portano, come atteso, a risultati prossimi fra loro, fornendo per l'induzione e per il campo magnetico valori medi

$B=1,025$ T e **$H=106$ A/m** , ma l'intrinseca complessità del problema, non permette una facile valutazione dell'incertezza da assegnare a dette determinazioni.

eof

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Renzodf:articolo17>"