

IDENTIFICAZIONE NUMERICA DI UN MODELLO FENOMENOLOGICO DI ISTERESI MAGNETICA VETTORIALE

*Pietro Burrascano, Ermanno Cardelli, Mario Carpentieri, Gloria Drisaldi, Antonio Faba,
Alessandro Pirani, Michele Pompei, Enrico Raschi, Marco Ricci, Francesco Tissi*

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Polo Scientifico Didattico di Terni
Università degli Studi di Perugia
Via Pentima Bassa 21, Terni 05100

Un aspetto particolarmente critico della definizione di un modello di isteresi di tipo fenomenologico è la sua identificazione. Com'è noto, questi modelli si basano su di una relazione matematica che definisce un legame tra due funzioni, una in ingresso che esprime il campo magnetico applicato su di un determinato materiale, ed una in uscita che esprime una stima della magnetizzazione complessivamente prodotta da tale materiale. Questo legame matematico deve necessariamente soddisfare alcune proprietà tipiche dei materiali magnetici come ad esempio, lo stato vergine, la non linearità e la saturazione. Tale legame però non può prescindere da alcune caratteristiche proprie di ogni tipo di materiale magnetico. Queste caratteristiche proprie sono legate in primo luogo ad aspetti quali il grado di anisotropia, la quantità di magnetizzazione residua e l'ammontare delle perdite per isteresi.

Identificare un modello di isteresi magnetica, rispetto al comportamento di un dato materiale, vuol dire individuare i parametri caratteristici della relazione matematica su cui si basa, a partire da un set minimo di dati prodotti da una caratterizzazione sperimentale del materiale stesso.

L'unità di Perugia sta lavorando su queste tipologie di modelli e in particolare su di un modello di isteresi magnetica vettoriale [1][2][3][4]. Tale modello si basa sull'utilizzo di operatori matematici chiamati isteroni. Un isterone, definito nello spazio del vettore campo magnetico produce nello spazio del vettore magnetizzazione un contributo il cui modulo dipende dalla probabilità di esistenza dell'isterone stesso. Una opportuna distribuzione di questi isteroni nello spazio del vettore campo magnetico riproduce complessivamente un vettore magnetizzazione che può descrivere efficacemente un processo di isteresi magnetica vettoriale.

La distribuzione di probabilità per gli isteroni rappresenta l'obiettivo dell'operazione di identificazione del modello, nel caso vettoriale tale identificazione è particolarmente complessa e di difficile risoluzione in forma chiusa.

La nostra unità ha prodotto nell'ultimo anno alcuni risultati relativi ad una procedura di identificazione di tipo numerico [5]. Tale procedura si basa sulla definizione di una griglia di isteroni fissa nello spazio del vettore campo magnetico, e nella costruzione di una relazione matriciale che lega questi isteroni a valori di magnetizzazione ottenuti da rilevazioni sperimentali. I valori della distribuzione di probabilità per ogni singolo isterone sono ottenuti in forma discreta attraverso un algoritmo di inversione. Tale processo richiede una regolarizzazione in quanto affronta un problema "sotto-determinato" e "mal-posto": il numero di isteroni è in genere molto maggiore di quello dei dati misurati, inoltre esistono più soluzioni del sistema che portano allo stesso risultato.

Nel dettaglio la nostra unità ha implementato ed utilizzato un approccio di tipo "*Least-Squares*" con uno schema di regolarizzazione di "*Tikhonov*" [6][7][8]. Un esempio dei risultati ottenuti è rappresentato nelle figure 1 e 2. Il test proposto riguarda l'uso del modello con l'impostazione di una distribuzione delle probabilità di tipo Lorentziana sia per le coordinate degli

isteroni sia per la distribuzione dei raggi. Applicando un campo magnetico demagnetizzante, dalla saturazione allo stato vergine (come descritto in figura 1), si ottiene la demagnetizzazione riportata in figura 2 (tracciato in nero). Utilizzando poi una diversa griglia di distribuzione della posizione degli isteroni e in particolare utilizzando un numero molto più ridotto di isteroni si è cercato di identificare il modello ricostruendo una distribuzione di probabilità prossima a quella di partenza. Il risultato dell'algoritmo di inversione produce una distribuzione di probabilità che produce una demagnetizzazione in accordo con quella iniziale (tracciato in grigio). Questo test è una prova dell'efficacia della procedura di identificazione che risulta accurata nonostante l'uso di un numero di isteroni ridotto rispetto alla simulazione di riferimento. La ricerca è in fase iniziale e sono in corso ulteriori test.

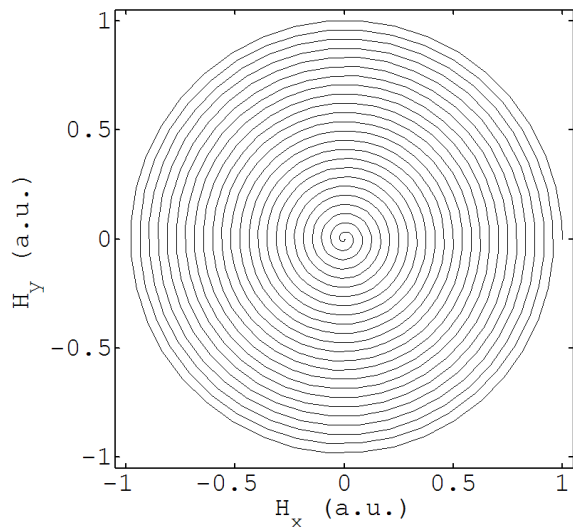


Fig.1 Campo magnetico applicato

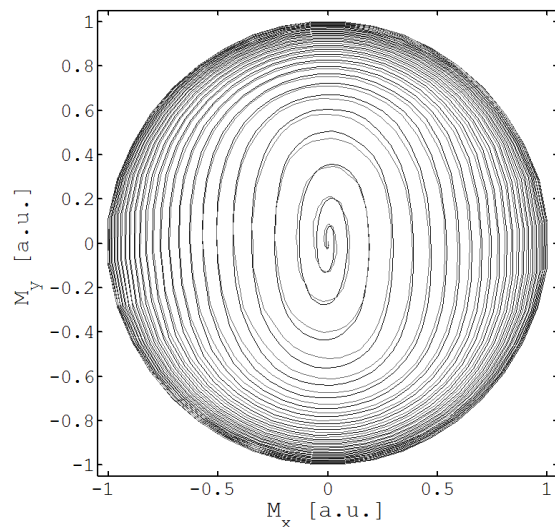


Fig.2 Confronto tra la magnetizzazione di riferimento e quella ricostruita dopo l'identificazione

Bibliografia

- [1] E. Della Torre, E. Pinzaglia, E. Cardelli, "Vector modeling - Part I: Generalized Hysteresis Model", *Physica B*, Vol. 372, pp. 111-114, 2006.
- [2] E. Della Torre, E. Pinzaglia, E. Cardelli, "Vector modeling - Part II: Ellipsoidal Vector Hysteresis Model. Numerical Application to a 2-D Case", *Physica B*, Vol. 372, pp. 115-119, 2006.
- [3] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "Properties of a class of vector hysterons", *Journal of Applied Physics* 103, 07D927, 2008.
- [4] P. Burrascano, E. Cardelli, M. Carpentieri, E. Della Torre, A. Faba, G. Finocchio, "Vector Hysteresis Model at Micromagnetic Scale", *IEEE Transaction on Magnetics*, Vol. 42, N. 10, Oct. 2006.
- [5] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "Numerical Identification Procedure for a Phenomenological Vector Hysteresis Model", Accepted for presentation on The Twelfth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC 2006), May 11 – 15, Athens, Greece.
- [6] Tarantola A. 2005, *Inverse Problem Theory*, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [7] Menke W. 1989, *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory* (New York: Academic) pp 51–5.
- [8] Tikhonov A. N. and Arsenin V. A. 1977, *Solution of Ill-posed Problems* (Winston & Sons).