

# **CARATTERIZZAZIONE FENOMENOLOGICA DEGLI ACCIAI MAGNETICI: MODELLI DI TIPO “H-MOVING” E SISTEMI SPERIMENTALI AD EFFETTO DEMAGNETIZZANTE RIDOTTO**

*Ermanno Cardelli, Antonio Faba*

Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Via G. Duranti 67, 06125 Perugia

L'unità di Perugia è attiva nello sviluppo di ricerche finalizzate alla modellistica dei fenomeni di isteresi magnetica e alla loro caratterizzazione sperimentale con particolare riguardo agli acciai magnetici. Questo lavoro ha portato recentemente alla definizione di un modello generale di isteresi di tipo fenomenologico in grado di rappresentare i comportamenti tipici di un materiale magnetico relativamente all'isteresi vettoriale [1][2].

La motivazione che spinge verso l'uso e il perfezionamento di questo modello vettoriale è dovuta alla sua formulazione analitica, particolarmente semplice ed intuitiva nonostante la complessità del fenomeno che deve rappresentare. Tale semplicità permette una facile implementazione numerica del modello tale da renderlo piuttosto promettente per un suo futuro utilizzo all'interno di procedure di simulazione alle differenze finite e agli elementi finiti [3].

Lo studio che si sta portando avanti in questo momento è focalizzato sull'identificazione del modello a partire da un appropriato set di dati sperimentali. L'attività viene svolta secondo due filoni, uno relativo alla scelta dei parametri e delle formulazioni analitiche più appropriate da poter poi identificare, l'altro è relativo alle tecniche di identificazione da mettere in atto.

I dati sperimentali che vengono utilizzati sono prodotti internamente presso i laboratori dell'unità di Perugia attraverso sistemi di misura appositamente progettati e sviluppati. Tali sistemi sono utilizzati sia per l'identificazione del modello che per la verifica della sua accuratezza predittiva, con particolare interesse per gli acciai magnetici [4][5].

In questo momento siamo impegnati nell'implementazione di una procedura di “H-moving” per rendere la distribuzione degli isteroni, definita sul piano del campo magnetico applicato, variabile in funzione del campo stesso. L'utilizzo di questa procedura si è resa necessaria per poter permettere un'identificazione del modello per materiali con una evidenti comportamenti anisotropi. Una prima versione di questa procedura prevede l'utilizzo di un prodotto di funzioni Lorentziane le cui varianze vengono modificate in maniera dipendente dall'angolo del vettore campo magnetico rispetto all'asse facile di magnetizzazione. Oltre alle varianze sopra menzionate, che sono relative alla distribuzione della densità di isteroni sul piano, viene modificato in funzione dell'angolo del campo applicato anche il valore del raggio degli isteroni per i quali si registra una più alta densità di popolazione (per maggiori dettagli su questa teoria si rimanda alla bibliografia riportata in fondo). Questa tecnica ha fornito alcuni incoraggianti risultati nella ricostruzione di processi di magnetizzazione lineare secondo diverse direzioni per acciai magnetici anisotropi [6].

L'implementazione numerica di queste tecniche gioca un ruolo fondamentale in quanto determinante per una loro applicazione all'interno di procedure di calcolo che tengano poi conto anche delle dimensioni fisiche degli oggetti da simulare e non solo delle caratteristiche intrinseche del materiale di cui sono costituiti. Da questo punto di vista si possono adottare algoritmi secondo due tipologie, la prima orientata alla minimizzazione del tempo di calcolo attraverso prodotti matriciali, con l'impiego di quantità di memoria considerevoli, la seconda

che al contrario minimizza il dispendio di memoria ma che necessita di tempi di calcolo più lunghi. Il primo tipo di algoritmo viene utilizzato abitualmente per l'identificazione e la verifica del modello, potendo generare cicli d'isteresi molto velocemente, il secondo risulterà invece necessario nel momento in cui si tenterà di inserire il modello all'interno di procedure ad esempio agli elementi finiti dove altrimenti le dimensioni fisiche degli oggetti da simulare richiederebbero un dispendio di memoria non sostenibile.

Dal punto di vista sperimentale siamo impegnati sul miglioramento del sistema di misura utilizzato per la caratterizzazione vettoriale degli acciai magnetici in modo da poter utilizzare in fase di identificazione e valutazione del modello dati con un grado di accuratezza maggiore. La principale criticità che si riscontra nelle misure magnetiche vettoriali è legata all'uso di campioni di materiale aperti, ossia magnetizzati attraverso l'uso di circuiti magnetici con traferro. Nei sistemi di misura classici, orientati alla caratterizzazione scalare dell'isteresi, il materiale sotto test è inserito all'interno di circuiti magnetici chiusi e quindi non sottoposto ad un effetto smagnetizzante. In questi la valutazione del valore del campo magnetico interno è piuttosto agevole e precisa. Nei campioni aperti relativi alle misure vettoriali l'effetto smagnetizzante è notevole, tanto da generare una disuniformità di campo magnetico tale da renderne difficile la valutazione. In particolare i rilievi che si effettuano con sonde poste sulla superficie del materiale forniscono una sovrastima dei valori di campo magnetico presenti effettivamente all'interno. Da questo punto di vista ultimamente è stato progettato e realizzato in laboratorio una nuova tipologia di magnetometro vettoriale per materiali "soft" che riduce sensibilmente l'effetto smagnetizzante incrementando l'accuratezza nel rilievo dell'effettivo comportamento del materiale [7].

## **Bibliografia**

- [1] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "A General Vector Hysteresis Operator: Extension to the 3-D Case", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 46, NO. 12, Pages: 3990-4000, December 2010.
- [2] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "Phenomenological modeling of magnetic hysteresis", ICS Newsletter, Vol. 17, No. 1, Pages: 3-17, March 2010 (Invited paper).
- [3] E. Cardelli, E. Della Torre, and A. Faba, "Numerical Implementation of the DPC Model", IEEE Transaction on Magnetics, VOL. 45, NO. 3, Pages: 1186-1189, March 2009.
- [4] E. Cardelli, A. Faba, "Vector Hysteresis Measurements via a Single Disk Tester", Physica B 372 (2006) Pages: 143-146.
- [5] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "Experimental Verification of the Deletion and Congruency Properties in Si-Fe Magnetic Steels", IEEE Transaction on Magnetics, VOL. 45, NO. 11, Pages: 5243-5246, November 2009.
- [6] E. Cardelli, E. Della Torre, A. Faba, "Vector Hysteresis Modeling for Anisotropic Magnetic Materials", Proc. of International Symposium on Hysteresis Modelling and Micromagnetics Levico (Trento), 9-11 May 2011.
- [7] E. Cardelli, A. Faba, "Evaluation of the Demagnetizing Effect in Vector Magnetic Measurements", Proc. of International Symposium on Hysteresis Modelling and Micromagnetics Levico (Trento), 9-11 May 2011.