

MATERIALI MAGNETOSTRITTIVI E DISPOSITIVI INTELLIGENTI: MODELLI E APPLICAZIONI

Daniele Davino

Dipartimento di Ingegneria
Università del Sannio
Piazza Roma 21-24, 82100 Benevento

Tra i materiali multifunzionali disponibili negli ultimi anni, quelli in grado di deformarsi per effetto di un campo applicato di tipo elettrico, magnetico, o di temperatura, sono stati oggetto di un notevole interesse applicativo. I più comuni e attualmente utilizzati risultano essere i materiali piezo-elettrici. I loro analoghi magnetici, noti comunemente come magnetostrittivi, presentano caratteristiche per certi versi complementari ai primi e mostrano alcune proprietà fisiche, come un'elevata densità di energia disponibile e un tempo di vita praticamente infinito, che li rendono promettenti in diverse applicazioni tecnologiche [1].

Per completare il quadro bisogna ricordare anche le leghe a memoria di forma, capaci di realizzare notevoli deformazioni da una transizione di fase Austenite-Martensite. Tuttavia, la loro risposta è legata alla temperatura e questo li rende molto lenti, limitandone drasticamente l'utilizzo ad applicazioni praticamente statiche. Altre leghe entrate sulla scena negli ultimi anni, a base Ni-Mn-Ga, si propongono di superare tale limitazione. Esse forniscono enormi deformazioni, fino al 10% in lunghezza, in risposta a campi magnetici per la verità anch'essi abbastanza elevati [2]. Purtroppo, a causa anche delle basse forze che queste leghe sono in grado di produrre e della degradazione delle prestazioni con la temperatura, il loro utilizzo è abbastanza limitato. In conclusione, gli unici materiali che presentano ad oggi caratteristiche concorrenziali o in certi casi superiori ai materiali piezoelettrici rimangono soltanto i magnetostrittivi. Essi sono costituiti da una lega di Fe-Tb, oppure Zn-Tb, e sono stati sviluppati alla fine degli anni '60 nei laboratori della marina USA proprio come possibile alternativa ai piezoelettrici. Nell'ultimo decennio, si è assistito alla presentazione di una grande quantità di studi in cui essi sono stati proposti e utilizzati come elementi attivi in diverse applicazioni quali, ad esempio, attuatori per micro-posizionamento (robotica, meccanica di precisione, etc), nel controllo attivo delle vibrazioni in avionica e nella produzione di ultrasuoni. La loro integrazione con tecnologie in fibra ottica per la misura di deformazioni permetterebbe anche la realizzazione di array di sensori di campo magnetico per applicazioni in ambienti elettromagneticamente ostili, o più semplicemente per la realizzazione di sensori di forza e posizione [3, 4].

Inoltre, anche se i materiali magnetostrittivi vengono in genere impiegati sfruttando la deformazione in risposta al campo magnetico, essi possono produrre un campo magnetico mediante l'impiego di una sorgente primaria di energia meccanica (effetto Villari) [1]. Utilizzare tale effetto permetterebbe lo sfruttamento di una sorgente di energia meccanica tempo-variante per produrre flusso magnetico, e quindi energia, in una bobina [5]. Di conseguenza, un siffatto dispositivo sarebbe in grado di convertire energia meccanica in energia elettrica, trovando applicazione laddove è più difficile disporre di sorgenti d'energia convenzionali oppure dove delle vibrazioni meccaniche indesiderate possono essere utilmente convertite in energia elettrica.

C'è da aggiungere, però, che tutti i materiali che rispondono con una deformazione elastica ad un campo applicato, manifestano un comportamento isteretico [6] che peggiora le prestazioni di un eventuale sistema di controllo [7]. A tale scopo, negli ultimi anni, molti gruppi di ricerca hanno posto enfasi notevole al problema del controllo di attuatori/sensori che impiegano materiali magnetostrittivi. Uno dei problemi da affrontare, nel loro controllo, consiste, infatti, nel modellare e compensare adeguatamente l'isteresi che emerge dal legame complessivo I/O del dispositivo in esame [8, 9]. Le variabili meccaniche (carico e deformazione) e magnetiche (campo e induzione) se, da una parte permettono una notevole versatilità nelle applicazioni, dall'altra rendono la modellizzazione dei dispositivi magnetostrittivi abbastanza complessa, perché, di fatto, bisogna tener conto di due ingressi e due uscite, che cambiano secondo le applicazioni.

Infine, l'attività modellistica non può prescindere da una caratterizzazione su scala macroscopica sia dei materiali, sia dei dispositivi, misurandone le caratteristiche meccaniche, in presenza di campo magnetico assegnato e, viceversa, le caratteristiche magnetiche, a carico meccanico assegnato. La conoscenza delle caratteristiche magneto-elastiche ed elasto-meccaniche, assieme ai modelli di isteresi sviluppati, permette di effettuare la compensazione delle non linearità e dell'isteresi [10], e di realizzare algoritmi di controllo in grado di operare in "real-time" [11] e tenendo conto di eventuali variazioni dello stress meccanico applicato al dispositivo [12].

Bibliografia

- [1] G. Engdahl, *Handbook of Giant Magnetostrictive Materials*, Academic Press, San Diego, 1999.
- [2] J. Tellinen, I. Suorsa, A. Jääskeläinen, I. Aaltio and K. Ullakko, *Basic properties of magnetic shape actuators*, atti della conferenza "Actuator 2002", Brema, Germania.
- [3] B. Culshaw and J. Dakin, *Optical Fiber Sensors: Applications, analysis, and future Trends*, Artech House inc., Norwood, (1997).
- [4] A. Yariv, H. V. Winsor, *Proposal for detection of magnetic fields through magnetostrictive perturbation of optical fiber*, Optics Lett., 53 (1980) 87 89.
- [5] X. Zhao e D.G. Lord, *Application of the Villari effect to electric power harvesting*, Journal of Applied Physics, vol. 99, 08M703, 2006.
- [6] I. D. Mayergoyz, *Mathematical Models of Hysteresis*, Springer (1991)
- [7] A. Cavallo, C. Natale, S. Pirozzi, and C. Visone, *Effects of Hysteresis Compensation in Feedback Control Systems*, IEEE Trans. On Magnetism, vol. 39, 3 (2003).
- [8] C. Natale, F. Velardi, C. Visone, Physica B 306 (2001) 161.
- [9] D. Davino, C. Natale, S. Pirozzi, C. Visone, *Phenomenological dynamic model of magnetostrictive actuators*, Physica-B, vol. 343, (2004).
- [10] D. Davino, C. Natale, S. Pirozzi, C. Visone, *A fast compensation algorithm for real-time control of magnetostrictive actuators*, J. Mag. Mat., vol. 290-291, (2005).
- [11] D. Davino, A. Giustiniani, V. Vacca, C. Visone, *Embedded Hysteresis Compensation and Control on a Magnetostrictive actuator*, IEEE Trans. on Mag., vol.42, no.10 (2006), 3443-3445.
- [12] D. Davino, A. Giustiniani, C. Visone, *A Magnetostrictive Model with Stress Dependence for Real Time Applications*, accettato per pubblicazione su IEEE Transaction on magnetism, aprile 2008.