

SENSORI DI FORZA BASATI SULL'ANISOTROPIA DEI MATERIALI MAGNETICI

Valerio Apicella, Carmine Stefano Clemente, Daniele Davino, Damiano Leone, Ciro Visone

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

Parole chiave - Materiali Magnetostrittivi, Sensori di Forza.

In numerose applicazioni tecnologiche è necessario misurare le forze agenti su di un sistema meccanico. Per questo motivo, grande interesse è stato dato negli ultimi anni, sia in ambito industriale che nella ricerca, alla realizzazione di dispositivi in grado di rilevare il carico meccanico esercitato. In molte applicazioni, inoltre, è richiesto al sensore di poter operare con buona accuratezza anche in presenza di disturbi di natura elettromagnetica. In tale ottica di indagine, grandi aspettative sono riposte nell'utilizzo di materiali *intelligenti* come nucleo attivo del sensore. Grazie a tali materiali, infatti, è possibile sfruttare semplici principi di *trasduzione* e lavorare in numerose condizioni operative mantenendo elevata l'accuratezza della misura. Nella classe di materiali *intelligenti*, rientrano i materiali *magnetostrittivi* e, in particolar modo, il *Galfenol*, una lega a base di Ferro e Gallio che presenta ottime proprietà magnetiche e meccaniche, [1,2], come elevata resistenza a trazione, buona duttilità e possibilità di essere lavorato con procedure utilizzate per materiali più comuni, quali l'acciaio. In questo lavoro, viene presentato un metodo innovativo che consente di risalire, a partire da una misura "magnetica", allo stato "meccanico" del campione di Galfenol, ovvero alla forza applicata dall'esterno, [3]. Tale metodologia si basa su un concetto ben noto dalla teoria del ferromagnetismo, [4]. In particolare, l'applicazione di uno stress meccanico in compressione, comporta un aumento della *costante di anisotropia uniassiale* nel materiale, K_σ , dove il pedice σ sottolinea la dipendenza dallo stato meccanico. In altri termini, il materiale diventa magneticamente più "duro" e richiede una maggiore energia per essere magnetizzato. Tale effetto è molto più evidente nei materiali con elevato accoppiamento *magnetoelastico*, come il Galfenol. La costante K_σ può essere calcolata mediante la seguente equazione:

$$K_\sigma = \int_{B_r}^{B_s} H dB \quad (1)$$

dove B_s e B_r sono, rispettivamente, l'induzione magnetica alla saturazione ed alla rimanenza, mentre H è il campo magnetico applicato. Se si considera il ciclo di isteresi di un generico materiale ferromagnetico, tale integrale può essere graficamente interpretato come l'area compresa tra il ramo discendente e l'asse delle ordinate, dalla rimanenza alla saturazione, come rappresentato in Figura 1. Misurando, dunque, K_σ , è possibile risalire allo stato tensionale del campione, e quindi allo stress meccanico applicato, sfruttando la semplice relazione:

$$\sigma = \frac{K_\sigma}{\lambda_s} \quad (2)$$

dove σ è lo stress meccanico e λ_s è la magnetostrizione di saturazione.

Il principio di funzionamento è stato provato sfruttando il setup sperimentale rappresentato in Figura 2. In particolare, un campione cilindrico di Galfenol (lunghezza 30mm, diametro 5 mm), equipaggiato con un avvolgimento di *pick-up* per la misura della tensione indotta e con due *strain gauge* per la misura della deformazione, è stato inserito in un elettromagnete opportunamente realizzato per applicare contemporaneamente un campo magnetico sinusoidale ed una forza in compressione, mediante una *macchina trazione compressione (UTM)*. La costante di anisotropia è stata, pertanto, misurata a diversi valori di stress, ottenendo una relazione lineare tra σ e K_σ , mostrata in Figura 3, che può essere sfruttata come curva

caratteristica del sensore. Infine, sono stati eseguiti dei test di validazione atti a ricostruire un profilo arbitrario di forza mediante il dispositivo di concetto. In Figura 4 è mostrato il confronto tra la forza ricostruita ed il segnale di riferimento della cella di carico, per diverse velocità di operazione della UTM. Pur rappresentando solo una prova di principio, il risultato ottenuto evidenzia le ampie potenzialità del dispositivo e della sua applicazione.

Oggetto di futuri lavori sarà mostrare che il principio esaminato può essere usato anche su materiali comunemente impiegati nell'ingegneria civile, quali l'acciaio, al fine di realizzare un sensore di stress non distruttivo per il monitoraggio strutturale.

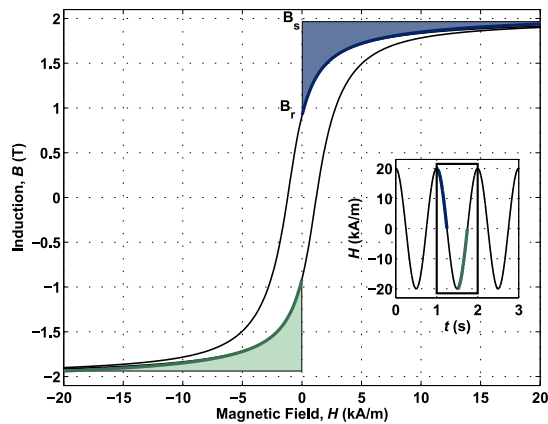


Figura 1. Le aree colorate rappresentano graficamente l'integrale dell'eq. (1) in un quarto di periodo del campo magnetico, come mostrato nel riquadro.

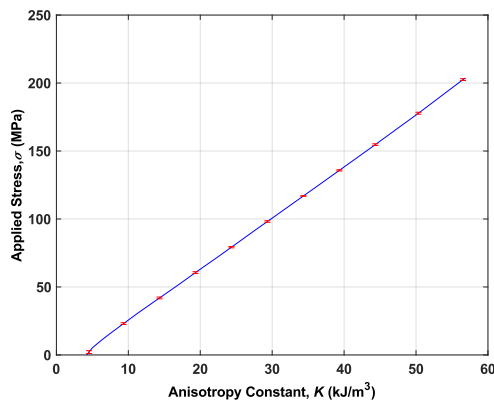


Figura 3. Caratteristica di trasferimento del dispositivo di concetto. Le barre rosse rappresentano la deviazione standard.

Bibliografia

- [1] Apicella, Valerio, et al. "Demagnetizing Field Effect on the Detection Range of a Galfenol-Based Magnetic Field Sensor." *IEEE Transactions on Magnetics* 53.11 (2017): 1-5.
- [2] Clemente, Carmine Stefano, Daniele Davino, and Ciro Visone. "Experimental Characterization of a Three-Rod Magnetostrictive Device for Energy Harvesting." *IEEE Transactions on Magnetics* 53.11 (2017): 1-4.
- [3] Apicella, Valerio, et al. "Experimental evaluation of external and built-in stress in Galfenol rods." *Physica B: Condensed Matter* (2017).
- [4] Bozorth, Richard M. "Ferromagnetism." *Ferromagnetism*, by Richard M. Bozorth, pp. 992. ISBN 0-7803-1032-2. Wiley-VCH, August 1993. (1993): 992.

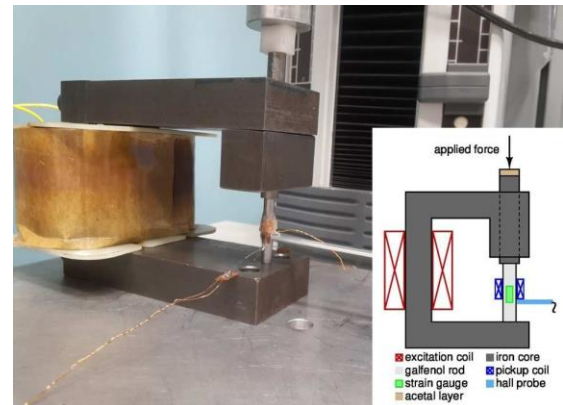


Figura 2. Foto del setup sperimentale. Nel riquadro è mostrato uno sketch 2D.

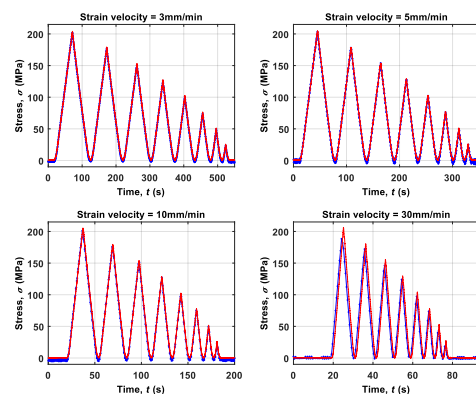


Figura 4. Misure di validazione a diverse velocità di variazione della forza. Confronto tra cella di carico (linee in rosso) e sensore magnetostrittivo (linee in blu).