

CORRENTI INDOTTE DALL'EFFETTO VILLARI IN DISPOSITIVI MAGNETOSTRITTIVI PER IL POWER HARVESTING

Daniele Davino[°], Luigi Egiziano, Alessandro Giustiniani*,
Vincenzo Tucci*, Ciro Visone[°], Walter Zamboni**

[°]DI, Università degli Studi del Sannio, Piazza Roma, Benevento

*DIIIIE, Università degli Studi di Salerno, Via Ponte Don Melillo, 84084 Fisciano (SA)

Negli ultimi anni sono stati proposti diversi dispositivi che utilizzano materiali con elevati accoppiamenti elettro- o magneto-meccanici (piezoelettrici e magnetostrittivi, rispettivamente) per applicazioni di recupero di energia ambientale. Tale fenomeno è meglio noto nell'accezione inglese di *energy harvesting*.

Dispositivi magnetostrittivi per l'*energy harvesting* sono stati descritti da modelli semplificati lineari in [1-2]. Sfortunatamente, il comportamento di questi materiali è piuttosto lontano dalla linearità ed influenza non solo il meccanismo di conversione, come mostrato in [3], ma anche i fenomeni di perdita dovuti alle correnti parassite, che sono il principale fattore limitante del dispositivo.

Un dispositivo per *energy harvesting* può essere realizzato, in principio, con un avvolgimento di N spire realizzato su una barra cilindrica magnetostrittiva e collegato da un carico resistivo. La geometria della barra cilindrica è caratterizzata da una sezione retta $S = \pi b^2$, una lunghezza l , volume $V = Sl$. L'effetto delle vibrazioni meccaniche può essere modellato come una forza di compressione variabile nel tempo $F_l(t)$ che agisce sulla sezione superiore della barra. La forza genera una distribuzione di tensione (meccanica) $T(t) = F_l(t)/S$ all'interno della barra che si assume uniforme nello spazio: $T(t) = T_0 + T_m \cos(\omega t)$, con T_0 il prestress-meccanico applicato alla barra.

Nel caso lineare, l'accoppiamento fra le variabili magnetiche e meccaniche è $B = \mu H + dT$, dove B è l'induzione magnetica, T la tensione meccanica applicata, H è il campo magnetico, d è il coefficiente di accoppiamento piezomagnetico (lineare), μ è la permeabilità magnetica. Per una modellazione non lineare, si può ragionevolmente assumere che la caratteristica sia senza memoria e descritta da:

$$B = \mu_0 H + M_s \tanh\left(\gamma \frac{H}{T}\right), \quad (1)$$

dove γ ed M_s sono parametri caratteristici del materiale [5]. La (1), anche se molto semplice è in grado di descrivere adeguatamente la saturazione e l'indurimento magnetico del materiale magnetostrittivo. Dalla simmetria di rotazione, assumendo $b \ll l$, la diffusione di B in coordinate cilindriche, può essere descritta dall'equazione

$$\frac{\partial}{\partial r} H \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rA) \right] = \sigma \frac{\partial A}{\partial t}. \quad (2)$$

dove σ è la conducibilità della barra magnetostrittiva (per il Terfenol-D $\sigma = 1.67 \cdot 10^6$ S/m), $H = H[B]$ la funzione non lineare inversa derivata dalla (1), A è la componente assiale del potenziale vettore magnetico $\mathbf{A}$ ($B = \nabla \times \mathbf{A}$). Ad essa vanno associate le condizioni iniziali e al contorno $A(r=0, t) = 0$; $A(r, t=0) = 0$.

Il problema così formulato è risolto col metodo degli elementi finiti. Dal punto di vista strettamente numerico, la singolarità $1/r$ è trattata mediante la trasformazione di coordinate $r=s^2$ e il conseguente uso del potenziale ausiliario $V(s,t) = \sqrt{s} A(\sqrt{s}, t)$ [4].

L'utilizzo di una caratteristica non lineare per la modellazione del materiale permette di evidenziare diversi fenomeni per i quali la modellazione lineare è insufficiente. A titolo di esempio, al contrario di quanto si evince dalla modellazione lineare, a frequenza fissata la potenza erogata dipende fortemente dalla polarizzazione H_0 del campo magnetico (Fig. 1a). Inoltre, per un campo magnetico di polarizzazione H_0 fissato, i valori della potenza erogata per *harvesting* al variare della frequenza sono molto maggiori rispetto a quelli predetti dal caso lineare (Fig. 1b).

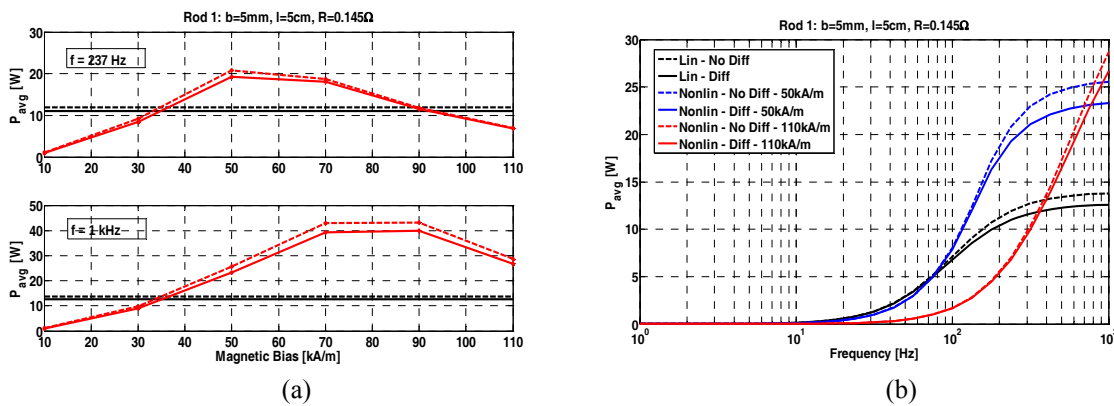


Fig. 1. Potenza erogata per *harvesting* (a) a diverse frequenze. (b) confronto modellazione lineare/non lineare in presenza/assenza di correnti parassite

Referenze

- [1] G. Engdahl, Ed., *Handbook of Giant Magnetostrictive Materials*. New York: Academic, (2000).
- [2] X. Zhao, D. G. Lord, "Application of the Villari effect to electric power harvesting", *J. of Appl. Phys* **99** 08M703 (2006)
- [3] A. Lundgren *et al.*, "A magnetostrictive electric generator", *IEEE Trans. Magn.* **29** 3150 (1993)
- [4] J. B. M. Melissen, J. Simkin, "A new Coordinate transform for the Finite Element Solution of Axysimmetric Problems in Magnetostatics", *IEEE Trans. Magn.* **26** 391 (1990)
- [5] D. Davino, A. Giustiniani, C. Visone, "Capacitive Load Effects on a Magnetostrictive Fully Coupled Energy Harvesting Device", *IEEE Trans. Magn.* **45** 4108 (2009)