

MODELLIZZAZIONE DI UN DISPOSITIVO DI ENERGY HARVESTING MAGNETOSTRITTIVO DI TIPO FORCE DRIVEN

V. Apicella, C. S. Clemente, D. Davino, D. Leone, C. Visone

Università degli Studi del Sannio, Dipartimento di Ingegneria, Piazza Roma 21, Benevento.

Parole chiave: *Energy Harvesting, Circuiti equivalenti, Materiali magnetostrittivi, WSN.*

L'utilizzo di dispositivi di *Energy Harvesting* si è molto diffuso negli ultimi anni e la ricerca in questo settore è notevole [1]. Con la tecnica dell'Energy Harvesting [2] si intende il recupero di piccole quantità di energia ambientale per alimentare i singoli nodi di una rete di sensori wireless (Wireless Sensor Network, WSN) utilizzata per il monitoraggio strutturale (Structural Health Monitoring, SHM) di ponti o viadotti, al fine di ridurre i costi di gestione [3]. Queste strutture vibrano sotto l'azione di fenomeni naturali (vento) o antropici, di conseguenza, una possibile strategia consiste nella conversione dell'energia meccanica contenuta nelle vibrazioni della struttura stessa [4]. La progettazione di questi dispositivi è complicata dall'interazione di grandezze meccaniche e elettromagnetiche. In questa memoria viene illustrato un modello elettrico equivalente di un dispositivo per il recupero energetico dalle vibrazioni (Kinetic Energy Harvester, KEH) che utilizza il Galfenol [5] come materiale attivo.

Il KEH è di tipo "force driven" ed è ideato per essere installato sotto l'asfalto di un ponte, in un chiusino, recuperando energia dal passaggio dei veicoli [6]. In Fig. 1 è mostrata una foto ed una schematizzazione di uno dei 4 dispositivi inseriti all'interno del chiusino. Esso è costituito da due dischi di acciaio che alloggiavano 3 cilindretti di Galfenol disposti a 120° . Sul disco superiore è posta una sfera di acciaio per permettere un trasferimento puntuale del carico. Alcuni magneti permanenti sono utilizzati per fornire il bias magnetico ed un avvolgimento da 2000 spire è posto attorno ad ogni cilindretto [7]. Infine, una PCB è stata realizzata e installata all'interno del dispositivo per permettere l'alloggiamento dei magneti e la connessione dei pickup sia in serie che in parallelo. La struttura di acciaio, quindi, oltre ad avere la funzione di trasferire il carico meccanico al Galfenol costituisce anche un circuito magnetico.

Il circuito equivalente a 3-porte è stato ottenuto partendo da un modello non lineare del Galfenol e applicando opportune analogie tra le grandezze meccaniche e magnetiche e quelle elettriche come mostrato in [8]. Il circuito complessivo equivalente del dispositivo è mostrato in Fig. 2. Le tre porte si riferiscono a grandezze meccaniche, magnetiche e elettriche. Come si nota, le porte sono messe in relazione tra di loro attraverso dei generatori di tensione arbitrari che tengono conto dell'accoppiamento magneto-meccanico dei materiali magnetostrittivi.

Il dispositivo è stato caratterizzato in laboratorio in diverse condizioni di funzionamento e i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti dall'implementazione del circuito in LTSpice. Di conseguenza è stato possibile confrontare gli andamenti della tensione e della potenza resa in differenti condizioni di funzionamento. In Fig. 3 sono mostrati i confronti della potenza media misurata e simulata per diverse sezioni dei magneti, differenti velocità della UTM (ossia velocità della forza applicata) e diversi valori di carico elettrico nel caso di pickup connessi in serie, mentre in Fig. 4 nel caso di connessione dei pickup in parallelo.

Come si nota dal confronto, il modello circuitale predice bene la potenza media erogata dal dispositivo nelle condizioni di funzionamento ottimale, ossia con un diametro del magnete pari a 15 mm. Inoltre, si vede come la potenza media presenta un massimo ($\sim 3\mu\text{W}$) in corrispondenza di $525\ \Omega$ nel caso di connessione serie dei pickup e $60\ \Omega$ nel caso di connessione parallelo. Questi valori corrispondono alla resistenza equivalente degli avvolgimenti nelle due configurazioni, a conferma del teorema di massimo trasferimento di energia.

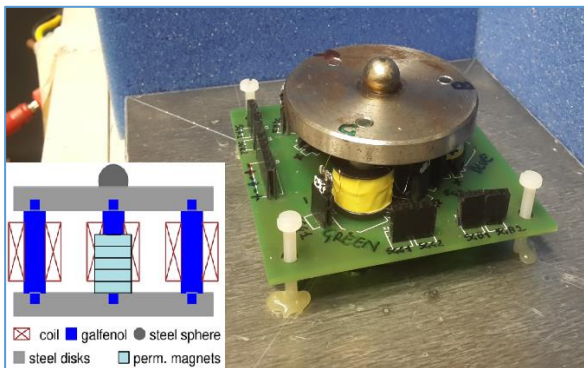


Fig. 1. Dispositivo di KEH con Galfenol. In basso a sinistra una schematizzazione 2-D.

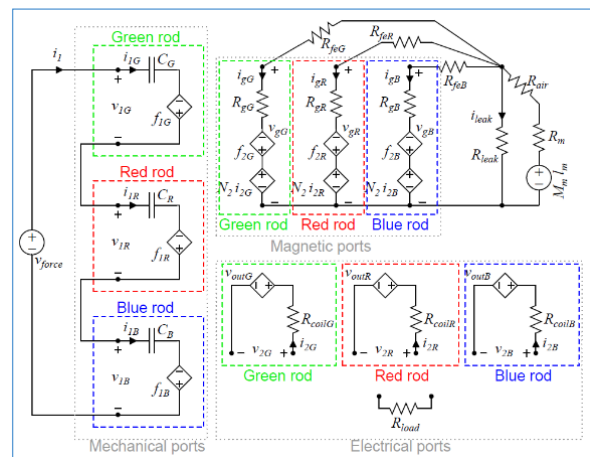


Fig. 2. Equivalente circuitale complessivo del dispositivo di KEH con tre rod di Galfenol

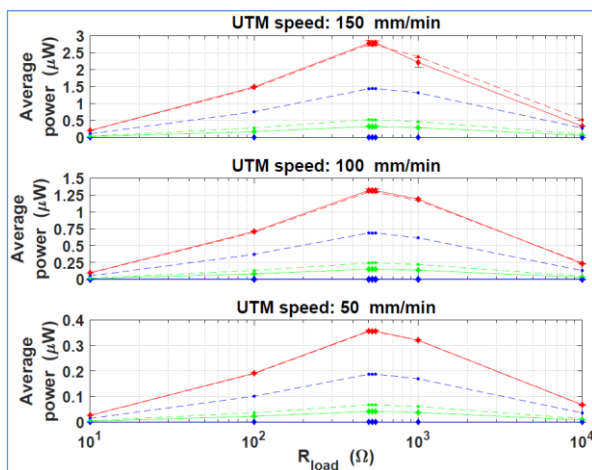


Fig. 3. Confronto tra la potenza media misurata (linea continua con rombi) e simulata (linea tratteggiata con punti) vs. carico elettrico applicato. Differenti diametri dei magneti sono considerati: 10 (verde), 15 (rosso) and 20 mm (blu). Coils in serie.

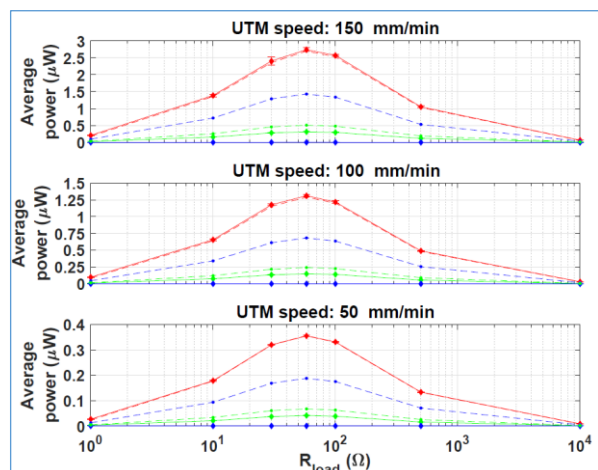


Fig. 4. Confronto tra la potenza media misurata (linea continua con rombi) e simulata (linea tratteggiata con punti) vs. carico elettrico applicato. Differenti diametri dei magneti sono considerati: 10 (verde), 15 (rosso) and 20 mm (blu). Coils in parallelo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Maiwa, H. "Piezoelectric Energy Harvesting." *Piezoelectric Materials*. InTech, 2016.
- [2] Kazmierski, T. J. and Beeby, S., "Energy harvesting systems". Springer, 2014.
- [3] Park, G. et al. "Energy harvesting for structural health monitoring sensor networks." *Journal of Infrastructure Systems* 14.1 (2008): 64-79.
- [4] Davino, D. and Visone, C., "Vibration energy harvesting devices based on magnetostrictive materials." *6th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2012*. Taylor & Francis Group, 2012.
- [5] G. Engdahl, "Handbook of Giant Magnetostrictive Materials". San Diego, USA: Academic Press, 2000.
- [6] Clemente, C. S., et al. "A magnetostrictive energy harvesting system for bridge structural health monitoring." *Advances in Science and Technology*. Vol. 101. Trans Tech Publications, 2017.
- [7] Clemente, C. S., et al. "Experimental Characterization of a Three-Rod Magnetostrictive Device for Energy Harvesting." *IEEE Transactions on Magnetics* 53.11 (2017): 1-4.
- [8] Clemente, C. S., et al. "Multiphysics circuit of a magnetostrictive energy harvesting device." *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 28.17 (2017): 2317-2330.