

# STUDIO NUMERICO DELLA SINCRONIZZAZIONE IN OSCILLATORI SPINTRONICI A DOPPIO CONTATTO

*Vito Puliafito<sup>1</sup>, Alessia Bramanti<sup>1</sup>, Andrea Calisto<sup>1</sup>, Giancarlo Consolo<sup>2</sup>,  
Giovanni Finocchio<sup>1</sup>, Anna Giordano<sup>1</sup>, Alessandro Prattella<sup>1</sup>, Bruno Azzarboni<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Dipartimento di Fisica della Materia e Ingegneria Elettronica, Università di Messina  
Viale F. Stagno D'Alcontres 31, 98166 Messina

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze per l'Ingegneria e per l'Architettura, Università di Messina  
Viale F. Stagno D'Alcontres 31, 98166 Messina

Gli oscillatori spin-torque a nano-contatto (STNO) sono stati, negli ultimi anni, oggetto di numerosi studi teorici [1], sperimentali [2], e numerici [3]. Tali dispositivi hanno mostrato notevoli potenzialità legate a diversi fattori, come la facile regolazione della frequenza d'uscita tramite il valore di corrente continua che li attraversa, gli alti fattori di qualità che possono essere raggiunti, le dimensioni nanometriche. D'altra parte, sono stati misurati sperimentalmente valori di potenza d'uscita, nell'ordine dei pW, che potrebbero precludere una effettiva applicazione tecnologica. Per far fronte a questo problema, è stata studiata la possibilità di fare interagire più oscillatori. Si è visto, infatti, che la loro sincronizzazione incrementa la potenza emessa, aumentando ulteriormente la purezza spettrale.

L'Unità di Messina, da anni, studia i fenomeni coinvolti nei dispositivi spintronici attraverso un codice micromagnetico che risolve l'equazione fondamentale di Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczeswki. In questo caso, ci siamo proposti di caratterizzare numericamente un oscillatore a doppio contatto. Si tratta di una spin-valve classica, costituita da due strati ferromagnetici ("free" layer, FL, e "pinned" layer, PL) separati da uno strato metallico non magnetico; le dimensioni laterali della struttura sono  $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ ; su di essa vengono realizzati due contatti attraverso cui la corrente passa perpendicolarmente dal PL al FL. Tali caratteristiche sono state implementate nel codice, in cui si è tenuto anche conto delle possibili differenze tra i contatti dovute ai processi di realizzazione. Si è quindi proceduto alla caratterizzazione dei due singoli contatti, attraversati uno per volta dalla corrente. Le frequenze d'uscita sono risultate diverse ma, per entrambi, crescenti al crescere della corrente, andamento atteso nel caso di campo magnetico esterno perpendicolare al piano come nel nostro caso. In seguito, i due contatti sono stati alimentati contemporaneamente, uno con corrente fissa e l'altro con corrente variabile, così da analizzare in quale intervallo di correnti il segnale d'uscita mostrasse una sola frequenza, prova dell'avvenuta sincronizzazione. Questo procedimento è stato eseguito in due configurazioni, identificate come contatti vicini (distanza tra i centri 100 nm) e contatti lontani (distanza pari a 450 nm).

La sincronizzazione tra i diversi nano-oscillatori può essere dovuta a due diversi tipi di interazione, come è stato spiegato in un lavoro teorico precedente [1]. Il passaggio di corrente in un STNO, a causa del noto effetto di spin-transfer torque, genera un moto di precessione della magnetizzazione nella regione sotto il contatto, che crea sia un campo magnetico variabile sia onde di spin che si propagano nel FL. Nel caso di due contatti, l'interazione magnetodipolare prevale a basse distanze, mentre l'interazione tra le onde di spin prevale a distanze maggiori. Per studiare numericamente quale fosse il fenomeno responsabile della sincronizzazione tra i nostri oscillatori, sono state effettuate delle simulazioni implementando un FL tagliato in una regione compresa tra i contatti. In questo caso, infatti, un'eventuale sincronizzazione può dipendere solo dall'interazione magnetodipolare.

I risultati dell'analisi numerica effettuata possono essere spiegati con il supporto di fig. 1, dove viene rappresentata la propagazione delle onde di spin generate dai due contatti, posti lontani o vicini, con FL intero o tagliato. Le correnti applicate sono tali per cui, nel caso di FL intero, è osservata una sola frequenza d'uscita, quindi è registrata una sincronizzazione. Nella figura, in alto a sinistra, appare evidente l'interferenza costruttiva tra le onde di spin. Questo non si presenta nel caso di contatti ravvicinati, in alto a destra, dove i fronti sono discontinui, per cui si evince che la sincronizzazione non è dovuta all'interazione tra onde di spin. Tagliando il FL, quindi, si è impedita l'interazione tramite onde sia per contatti lontani, sia per contatti vicini, come si vede nelle due rappresentazioni in basso. In particolare, nel caso di contatti lontani il segnale d'uscita ha mostrato due frequenze, provando che la sincronizzazione registrata con FL intero era dovuta all'interazione tra le onde. Nel caso di contatti vicini, invece, pur con FL tagliato, il segnale ha mostrato una sola frequenza, quindi la sincronizzazione, presente con FL intero e tagliato, deve essere dovuta all'interazione magnetodipolare. Le predizioni teoriche hanno quindi trovato conferma.

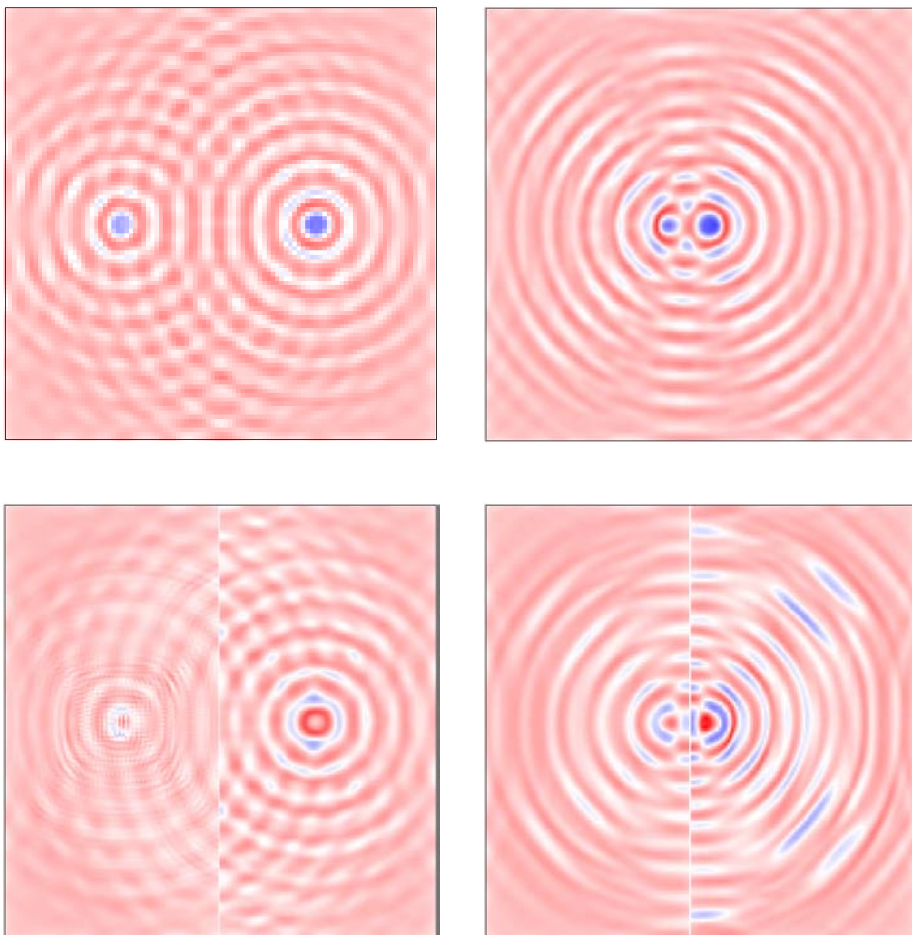


Figura 1. Propagazione delle onde di spin generate dai due contatti, lontani e vicini, e nel caso di FL tagliato.

## Bibliografia

- [1] A. Slavin e V. Tiberkevich, *IEEE Trans. Magn.* 45, 1875 (2009).
- [2] S. Bonetti, et al., *Phys. Rev. Lett.* 105, 217204 (2010).
- [3] G. Consolo, et al., *IEEE Trans. Magn.* 43, 2974 (2007).