

# PROGETTO DI FILTRI EMI AD ELEVATA *POWER DENSITY* MEDIANTE OTTIMIZZAZIONE MULTI-OBIETTIVO

G. Ala, G. Conte, G. Giglia

<sup>1</sup>Università degli Studi di Palermo – DEIM, viale delle Scienze - ed. 9, 90128 Palermo

L'impiego di filtri EMI ad elevata *power density* costituisce un importante ed inderogabile aspetto da tener in conto durante la fase di progetto di un qualunque convertitore elettronico di potenza o di apparato che ne preveda l'impiego per applicazioni in ambito *automotive* o avionico, e comunque in tutte quelle applicazioni in cui pressante è la necessità di rispettare i vincoli relativi all'ingombro ed al peso, a parità di prestazioni dal punto di vista della *compliance* elettromagnetica.

Su questi aspetti gli autori hanno già sviluppato una procedura automatica che consente l'individuazione della configurazione ottima del filtro EMI passivo dal punto di vista del peso/ingombro, per assegnate prestazioni EMC. La procedura, basata su *regole*, fa uso di database predisposti ad hoc, popolati dai componenti disponibili sul mercato per il progetto sia della parte di modo-differenziale-DM che della parte di modo-comune-CM (*X-caps*, *Y-caps*, *CM chokes*) del filtro.

Un aspetto altrettanto importante in fase di progettazione dei componenti del filtro, è costituito dalla possibilità di tener conto delle perdite nei componenti e del costo da approntare, soprattutto quando si rende necessario l'uso massivo di apparati in ambito *power electronics*. Per tener conto di tale aspetto, è stata allora impiegata una metodologia di ottimizzazione multiobiettivo di tipo euristico, basata sul concetto di dominanza. Tale procedura consente inoltre la costruzione di uno o più *fronti di Pareto* dei quali fanno parte una serie di configurazioni possibili, ottime e/o sub-ottime, tra le quali è possibile scegliere quella che presenta la dominanza voluta in termini di minime perdite, minimo ingombro/peso, minimo costo per la realizzazione del filtro EMI. La procedura spazia anche su soluzioni multistadio: il massimo numero di stadi da considerare è comunque definito dal progettista.

Nell'ambito dello sviluppo della procedura di ottimizzazione, particolare criticità riveste la valutazione delle perdite nel materiale ferromagnetico costituente il choke di modo comune e l'eventuale induttanza aggiuntiva di modo differenziale. In questa prima fase della ricerca, per tali valutazioni, viene impiegato il metodo di Steinmetz generalizzato.

Come esempio applicativo, è stato realizzato il progetto di un filtro EMI per un azionamento PWM che impiega un VSI (*voltage source inverter*) per l'alimentazione di un motore trifase a induzione con tensione nominale 48 V, potenza nominale 220 W e massimo valore di corrente pari a 5 A. Il VSI è basato su un modulo di potenza STGIPS10K60A che impiega una scheda FPGA Altera Cyclone III che implementa la modulazione PWM, con una frequenza di commutazione pari a 20 kHz.

Nella tabella seguente si riportano i parametri delle soluzioni ottime di Pareto. In grassetto è riportata la soluzione individuata con la sola procedura basata su regole, la quale pur consentendo il minimo ingombro/peso, non permette di minimizzare anche perdite e costo. Si nota che le soluzioni ottime coinvolgono configurazioni mono e doppio stadio, il massimo valore delle perdite si attesta su 144 W ed i valori del volume sono tutti inferiori a circa 25 cm<sup>3</sup>, insieme al fatto che i costi risultano ragionevolmente bassi. In figura 1 è riportata una rappresentazione grafica di tre fronti di pareto che comprendono i dati della prima soluzione ottima e quelli delle successive due configurazioni sub-ottime. Una tale differenziazione risulta opportuna quando le prestazioni in termini di compliance elettromagnetica risultano dominanti

rispetto all'individuazione di configurazioni ottime in termini delle altre quantità, per cui risulta utile avere un range più esteso di soluzioni ottime e sub-ottime da valutare.

PARAMETRI DELLE SOLUZIONI OTTIME DI PARETO

| numero di stadi | volume [cm <sup>3</sup> ] | peso [g]     | perdite [W]  | costo [€]    |
|-----------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1               | 24.53                     | 31.63        | 54           | 6.37         |
| 1               | 20.25                     | 27.48        | 40           | 6.88         |
| 1               | 21.28                     | 28.32        | 35.26        | 7.61         |
| 1               | 31.02                     | 57.27        | 138.92       | 5.52         |
| <b>2</b>        | <b>13.88</b>              | <b>19.12</b> | <b>53.41</b> | <b>11.14</b> |
| 2               | 14.44                     | 20.66        | 67.75        | 5.76         |
| 2               | 16.18                     | 21.27        | 58.46        | 9.52         |
| 2               | 18.24                     | 23.36        | 45.98        | 11.1         |
| 2               | 20.40                     | 39           | 144.35       | 5.1          |

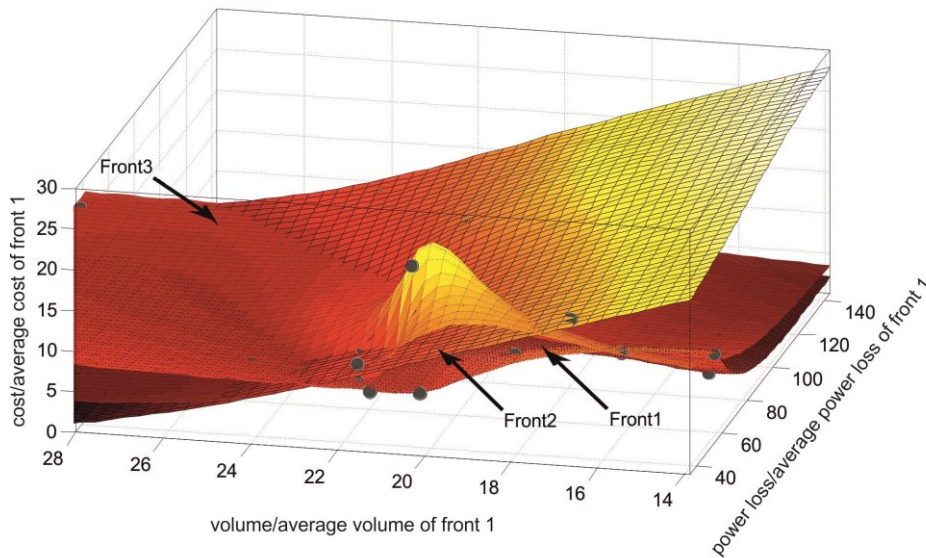


Figura 1 – Superfici approssimanti dei *fronti di Pareto*: i valori degli indici di prestazione sono normalizzati rispetto al valore medio delle soluzioni appartenenti al primo fronte Pareto (costo = 7,66 €, volume = 20 cm<sup>3</sup>, perdite di potenza = 70,85 W).

### Bibliografia

- [1] G. Ala, C. Conte, G. Giglia, E. Francomano, M. C. Di Piazza, M. Luna, "Design of EMI Filters using Multi-Objective Optimization," IEEE 18<sup>th</sup> International Conf. on Environment and Electrical Engineering (IEEE EEEIC 2018), 12-15 June 2018, Palermo, Italy.
- [2] G. Ala, M. C. Di Piazza, G. C. Giaconia, G. Giglia, G. Vitale, "Design and performance evaluation of a high power density EMI filter for PWM inverter-fed induction motor drives," IEEE Transaction on Industry Applicatons, vol. 52, pp. 2397-2404, 2016..
- [3] G. Giglia, G. Ala, M. C. Di Piazza, G. C. Giaconia, M. Luna, G. Vitale, P. Zanchetta, "Automatic EMI Filter Design for Power Electronic Converters Oriented to High Power Density," Electronics, vol. 7, pp. 1-16, MDPI, 2018.