

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

G. Ala, G. Conte, G. Giglia

¹Università 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 cm³, 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 ³]	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
2	13.88	19.12	53.41	11.14
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

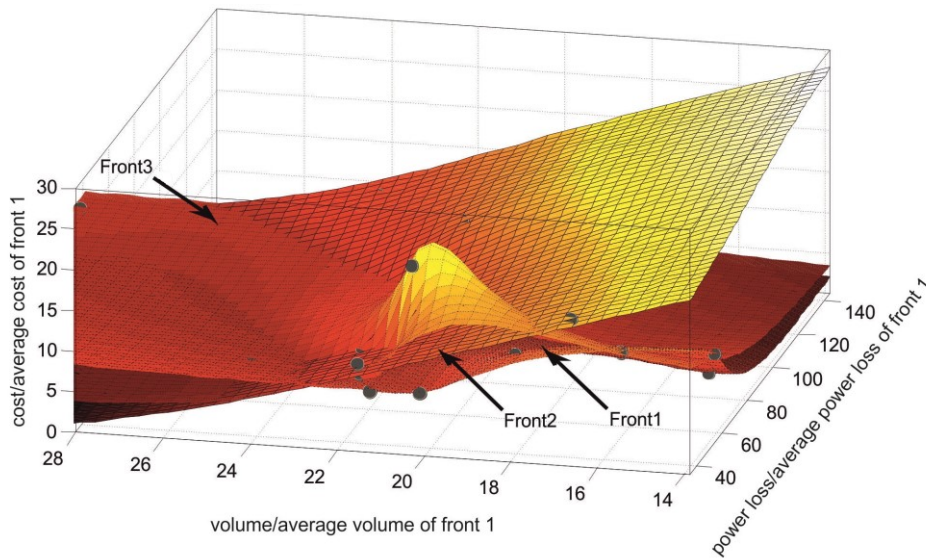


Figura 1 – Superfici approssimanti dei *fronti di Pareto*: i valori degli indici di prestazione sono normalizzati rispetto al valore medio delle soluzioni appartenenti al primo fronte Pareto (costo = 7,66 €, volume = 20 cm³, perdite di potenza = 70,85 W).

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 18th International Conf. on Environment and Electrical Engineering (IEEE IEEEIC 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.