

STUDIO DEL PROCESSO DI RISCALDAMENTO AD INDUZIONE DI BRAMME DI ACCIAIO MAGNETICO SATURATE TRAMITE MAGNETI SUPERCONDUTTORI

Antonio Morandi¹, Massimo Fabbri¹

¹Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione, Università di Bologna

Parole chiave: Riscaldamento ad induzione, Magneti superconduttori, saturazione magnetica

Nel riscaldamento ad induzione l'87% della potenza viene generata all'interno dello spessore di penetrazione. Nel caso del riscaldamento di acciai magnetici tale parametro ha valori tipici dell'ordine del millimetro a causa dell'elevata permeabilità magnetica. Il riscaldamento di bramme (con dimensioni tipiche 200 mm × 1000mm × 5000mm) avviene quindi a partire dalla superficie verso il centro. Il processo di riscaldamento deve essere interrotto quando la temperatura massima si avvicina troppo alla temperatura di fusione del materiale e viene alternato a più fasi di rilassamento per permettere l'omogeneizzazione della temperatura. Per aumentare lo spessore di penetrazione è possibile portare in saturazione magnetica il materiale tramite un campo esterno stazionario prodotto da un magnete superconduttore. Se il campo AC è trascurabile rispetto al campo di saturazione DC, il materiale si può considerare come non-magnetico. In tal caso lo spessore di penetrazione aumenta fino a qualche decina di millimetri ed il processo di riscaldamento è semplificato.

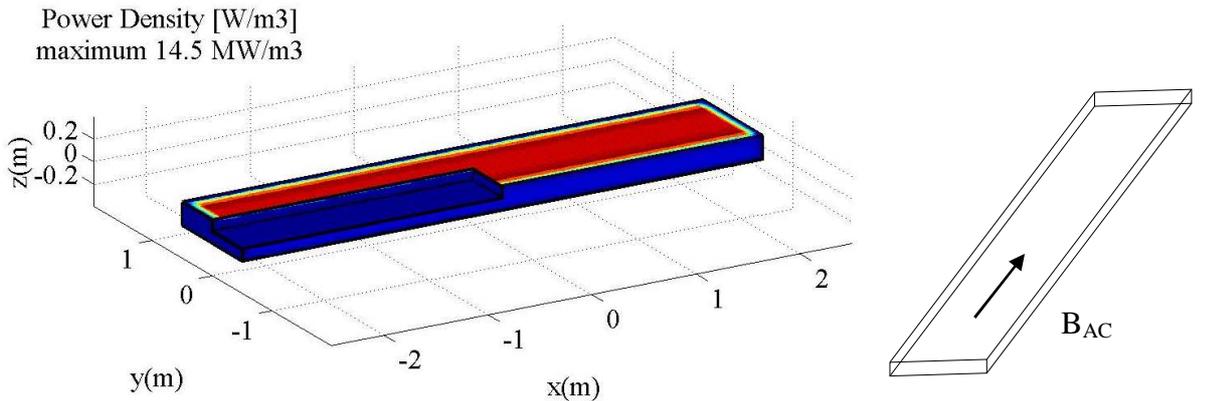


Figura 1. – Distribuzione della densità di potenza in una bramma magnetizzabile ($B_{DC} = 0$; $B_{AC} = 100$ mT in direzione x).

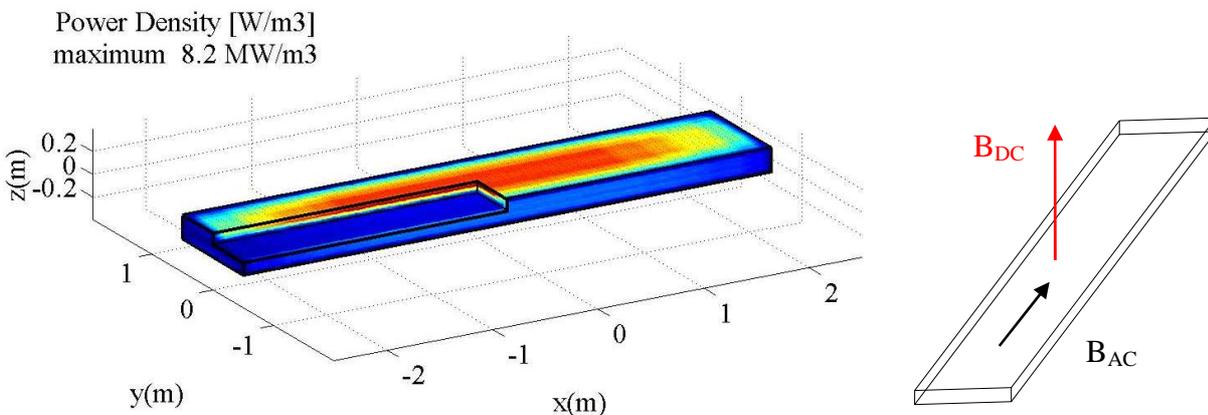


Figura 2. – Distribuzione della densità di potenza in una bramma saturata ($B_{DC} = 2.5$ T in direzione z ; $B_{AC} = 190$ mT in direzione x).

Nella presente memoria si riportano i risultati dell'analisi di fattibilità di processi di riscaldamento per bramme magnetiche in presenza di un campo di saturazione. A tal fine si sono sviluppati i codici per la soluzione dei problemi elettrodinamico, magnetostatico e termico tramite un approccio integrale. I tre problemi discretizzati condividono la stessa mesh: il problema elettrico è stato risolto utilizzando per la rappresentazione della densità di corrente tramite funzioni di forma di tipo "edge elements", il problema magnetostatico utilizzando una formulazione di tipo "element-based" ed il problema termico con funzioni di forma di tipo nodale. Calore specifico e conducibilità termica del materiale dipendono dalla temperatura. La magnetizzazione di saturazione e la permeabilità relativa differenziale dipendono, oltre che dal campo di induzione magnetica, anche dalla temperatura. In particolare, oltre la temperatura di Curie il materiale è non magnetico. Per quanto riguarda le condizioni al contorno del problema termico, si è considerato lo scambio di calore convettivo e per irraggiamento (che diventa dominante ad alta temperatura). La definizione della temperatura "ambiente" con cui la bramma effettua lo scambio termico ha richiesto anche un modello del refrattario che circonda la bramma e protegge gli induttori esterni.

La figura 3 mostra un processo di riscaldamento a partire dalla temperatura ambiente per una bramma magnetica saturata con un campo stazionario di 2.5T. Il processo di riscaldamento avviene tramite l'applicazione di un campo AC (trasversale al campo di saturazione) di 190 mT alla frequenza di 110Hz. In questa fase la temperatura massima viene portata fino al valore richiesto per la successiva fase di laminazione (potenza a regime circa 4 MW). La seconda fase, a metà potenza, riduce la differenza tra la temperatura media sulla superficie e la temperatura media nel volume, che è uno dei parametri rilevanti per potere effettuare la laminazione. Dato che in regime DC il magnete superconduttore non dissipa, l'efficienza del processo di riscaldamento è pari a quella degli analoghi processi di riscaldamento ad induzione per acciai non-magnetici.

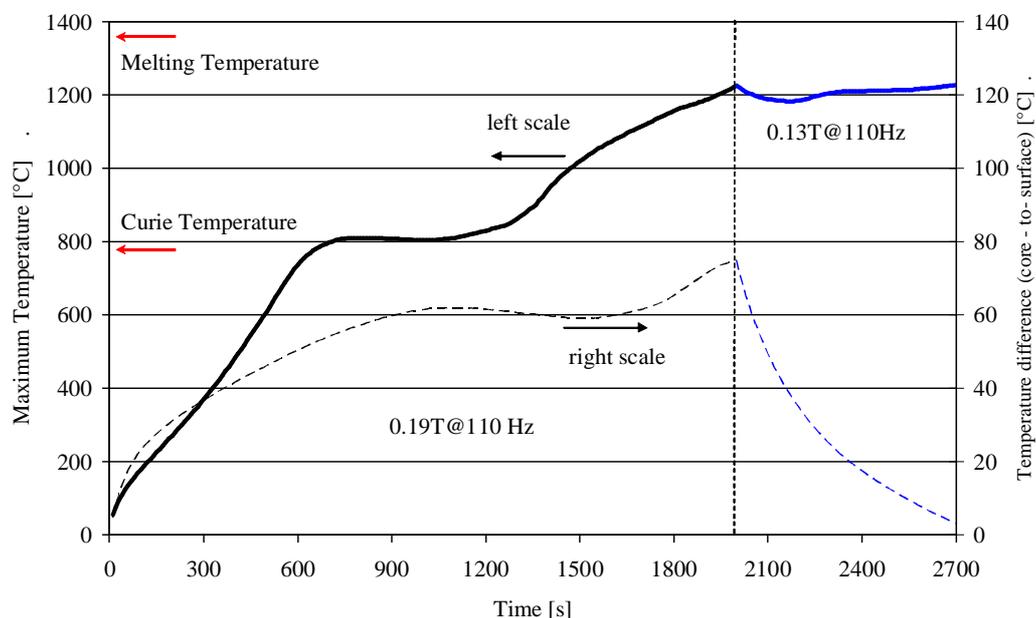


Figura 3. – Temperatura massima e differenza di temperatura tra zona centrale e superficie per una bramma saturata ($B_{DC} = 2.5 \text{ T}$). La prima fase di riscaldamento porta la temperatura massima al valore richiesto; la seconda fase, a metà potenza, permette di omogeneizzare la temperatura.