

UN MODELLO BIDIMENSIONALE ANISOTROPO PER LO STUDIO DEL QUENCH IN NASTRI SUPERCONDUTTORI A BASE DI YBCO

M. Breschi, M. Casali, P. L. Ribani

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione
 Università di Bologna
 Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Parole chiave: nastri superconduttivi, modello 2D FEM del quench, coated conductors, alto rapporto di aspetto

La superconduttività è oggi applicata in diverse tecnologie, da dispositivi elettronici di piccola scala ad applicazioni di potenza e magneti per alti campi. Recentemente la ricerca sui nastri superconduttori di seconda generazione (2G) denominati YBCO Coated Conductor (CC) ha consentito notevoli progressi. Questi nastri sono in grado di trasportare elevate densità di corrente sia a temperature fino a 77 K in auto-campo, sia ad alti campi magnetici (sopra 20 T) ma a basse temperature. I recenti miglioramenti delle tecniche di produzione hanno inoltre permesso di migliorarne l'omogeneità delle proprietà sulla lunghezza del nastro e le performance elettriche.

Uno studio accurato del comportamento di tali nastri durante la transizione irreversibile allo stato normale (quench) è necessario per la progettazione la realizzazione di cavi e magneti che siano adeguatamente protetti dai danni dovuti alla creazione di punti caldi (hot spot) durante il quench. Un modello numerico bidimensionale del quench è stato sviluppato a tal fine in ambiente COMSOL Multiphysics.

Il modello bidimensionale è un modello termo-elettrico che risolve l'equazione differenziale di bilancio del calore fortemente accoppiata alle equazioni dell'elettrodinamica stazionaria:

$$\rho C_p(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k(T) \nabla T) = \sigma(T, |\mathbf{E}|) \nabla V \cdot \nabla V \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (-\sigma(T, |\mathbf{E}|) \nabla V) = 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

$$\mathbf{J} = \sigma(T, |\mathbf{E}|) \mathbf{E}$$

Nel modello il problema dell'elevato rapporto di aspetto del nastro è risolto moltiplicando lo spessore del nastro per un fattore costante N e compensando le equazioni di bilancio del calore e dell'elettrodinamica stazionaria mediante l'introduzione di proprietà anisotrope dei materiali. In particolare, considerando la geometria di Fig. 1, al cambiamento di variabili $y' = N \cdot y$, corrisponde la necessità di moltiplicare per il fattore N le conducibilità elettrica e termica in direzione y e di dividere per lo stesso fattore queste proprietà in direzione x [1].

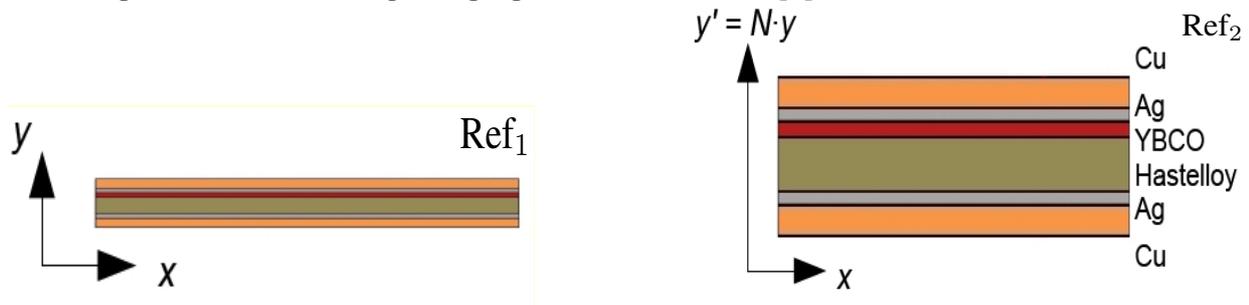


Fig. 1. Schema della modifica della geometria del nastro che consente il miglioramento dell'aspect ratio per il modello agli elementi finiti.

Tale approccio permette la simulazione del quench con un alto grado di dettaglio, modellando ogni strato del nastro e mantenendo limitato il numero di elementi della discretizzazione FEM. Il modello FEM è stato validato tramite il confronto con dati sperimentali disponibili in letteratura [1] relativi sia all'energia minima necessaria per determinare un quench (MQE), sia alla velocità di propagazione della zona normale ($NZPV$). Il confronto con i dati sperimentali è mostrato in Fig. 1 e Fig. 2. Un ulteriore modello del nastro, sviluppato presso l'Università di Bologna, è basato sull'accoppiamento di un modello circuitale a parametri distribuiti con un opportuno modello termico. In Fig. 3 e Fig. 4 è mostrato il confronto tra il modello circuitale e il modello agli elementi finiti, per quanto concerne la corrente critica del nastro e la minima energia di quench. In entrambi i casi si è ottenuto un buon accordo tra le curve, che ha consentito di confrontare i codici in relazione al tempo di calcolo necessario per produrre i risultati numerici. Si è osservato che il codice di calcolo basato sul modello circuitale consente una riduzione considerevole dei tempi di calcolo rispetto al modello agli elementi finiti (con un fattore pari a circa 30 sullo stesso calcolatore), pur consentendo una stima molto accurata dei principali parametri che descrivono il quench.

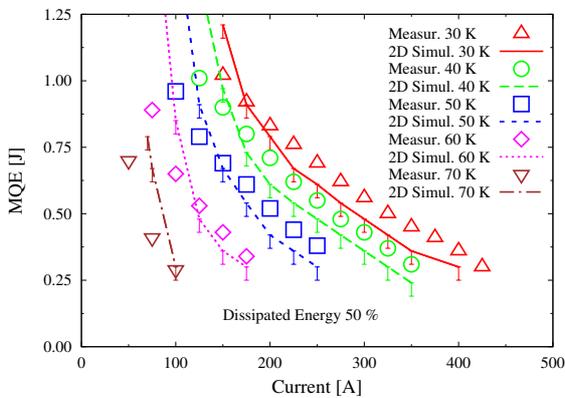


Fig. 1 MQE : confronto tra modello FEM e dati sperimentali

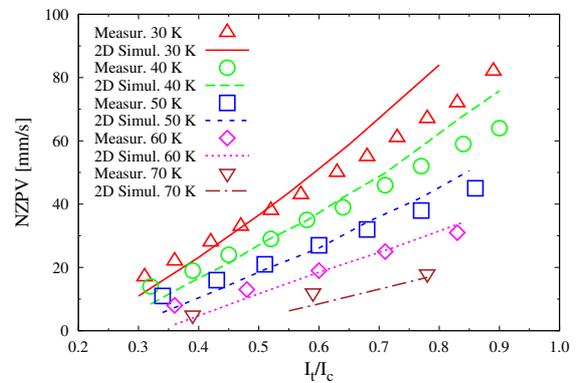


Fig. 2 $NZPV$: confronto tra modello FEM e dati sperimentali

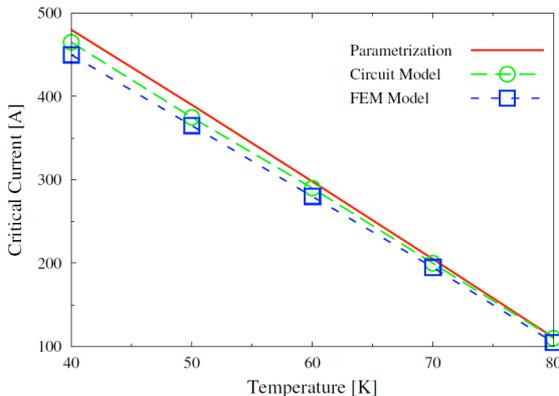


Fig. 3 I_c : Confronto tra modello FEM e modello circuitale

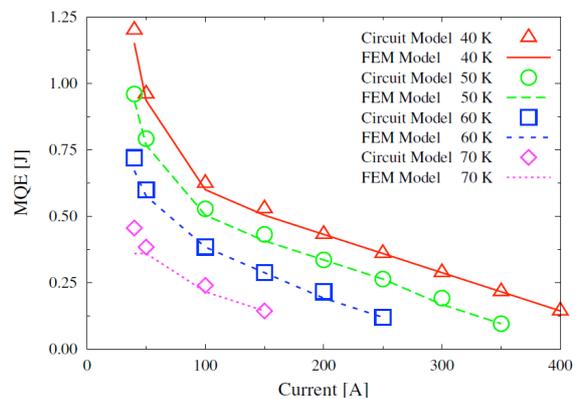


Fig. 4 MQE : Confronto tra modello FEM e modello circuitale

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Casali, M. Breschi, P. L. Ribani, 2D Anisotropic Model of YBCO Coated Conductors, submitted for publication in *IEEE Trans. Appl. Supercond.*
- [2] X. Wang, U.P. Trociewitz, and J. Schwartz, "Self-field quench behaviour of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ coated conductors with different stabilizers", *Superconductor Science and Technology*, vol. 22, no. 8, 2009.