

ACCELERAZIONE GPU DELLE ANALISI ELETTROMAGNETICHE A BASSA FREQUENZA DI DISPOSITIVI FUSIONISTICI

A. G. Chiariello, S. Mastrostefano, S. Ventre, F. Villone
DAEIMI, Università degli Studi di Cassino
Via Di Biasio 43, 03043, Cassino (FR)

M. Nicolazzo, G. Rubinacci
DIEL, Università Federico II di Napoli
Via Claudio 21, 80125, Napoli

Abstract. I dispositivi per la fusione termonucleare controllata sono sistemi elettromagnetici complessi, la cui analisi numerica richiede un livello di dettaglio molto accurato; ciò porta ad avere dei modelli computazionali molto impegnativi. I metodi numerici integrali sono, nei casi in esame, estremamente convenienti, a causa della peculiare geometria dei dispositivi in esame. La presente memoria discute l'accelerazione con Graphics Processor Units (GPU) di alcune possibili analisi in bassa frequenza.

Introduzione

La dinamica dei plasmi fusionistici nei dispositivi toroidali è descritta convenientemente dalle equazioni MHD (Magneto-idro-dinamiche), le quali predicono, in particolari situazioni, l'esistenza di diversi modi di evoluzione instabili. Circondando il plasma con delle strutture conduttrici sufficientemente vicine (ad esempio, il cosiddetto vessel), una qualsiasi perturbazione di plasma induce delle correnti parassite che tendono a contrastare l'instabilità che tenderebbe a manifestarsi. Questo effetto stabilizzante dura soltanto fintanto che le correnti parassite non decadano a causa della resistività non nulla di queste strutture; ciò spiega intuitivamente perché il tasso di crescita (growth rate) dell'instabilità sia dell'ordine delle costanti di tempo elettromagnetiche e dà conto del nome di Resistive Wall Modes (RWM).

Al fine di analizzare questo fenomeno, è quindi cruciale disporre di un modello elettromagnetico accurato (tridimensionale) del sistema complessivo plasma-conduttori. I risultati delle analisi sono importanti per la stima del growth rate dell'instabilità [1] e per la valutazione delle perdite per effetto Joule e le forze elettromagnetiche in gioco [2] che conseguono ad una cosiddetta disruption (brusca perdita del sconfinamento del plasma) dovuta ad una di queste instabilità. Queste informazioni sono fondamentali per il corretto dimensionamento delle strutture e degli alimentatori di controllo, sia nei dispositivi attualmente esistenti, sia per quelli attualmente in fase di progetto e costruzione come ITER.

Modello computazionale

Grazie alla particolare geometria dei dispositivi toroidali per la fusione, con un alto rapporto vuoto/pieno), i modelli computazionali integrali sono di solito preferiti. In questa memoria, in particolare ci riferiamo alla formulazione riportata in [3]. Viene data una discretizzazione ad elementi finiti del volume conduttore V_c con resistività η , usando gli edge elements \mathbf{N}_k per approssimare la densità di corrente. Così facendo, il modello computazionale diventa il seguente:

$$\underline{\mathbf{R}}\underline{\mathbf{I}} + \underline{\mathbf{L}}\frac{d\underline{\mathbf{I}}}{dt} = \underline{\mathbf{V}} \quad (1)$$

$$L_{i,j} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V_c} \int_{V_c} \frac{\nabla \times \mathbf{N}_i(\mathbf{r}) \cdot \nabla \times \mathbf{N}_j(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dV dV' \quad (2)$$

$$R_{i,j} = \int_{V_c} \nabla \times \mathbf{N}_i \cdot \boldsymbol{\eta} \cdot \nabla \times \mathbf{N}_j dV \quad (3)$$

dove $\underline{\mathbf{I}}$ è il vettore di gradi di libertà che descrivono la densità di corrente e $\underline{\mathbf{V}}$ è legato alla tensione applicata ai conduttori attivi. Un termine aggiuntivo rispetto alla matrice di induttanza (2) deve essere considerato, se si tiene conto della presenza del plasma [1]. Il sistema (1) può essere analizzato con time-stepping, analisi in frequenza o calcolo di autovalori, a seconda delle esigenze.

I modelli accurati sono molto onerosi dal punto di vista computazionale, poiché danno luogo a matrici piene del tipo (2)-(3) di dimensioni dell'ordine delle centinaia di migliaia, il cui trattamento richiede delle tecniche specifiche. Ad esempio, sono state applicate tecniche di velocizzazione e di parallelizzazione [4], arrivando ad un livello di accuratezza di descrizione senza precedenti nella descrizione delle strutture conduttrici attive e passive.

In questa linea, uno sviluppo potenzialmente molto promettente riguarda l'utilizzo di GPU (Graphics Processing Units) per effettuare calcolo scientifico in generale. A questo scopo, è stato costruito un cluster dedicato, con 144 GB di RAM, 32 CPU e 4 unità GPU con un totale di oltre 1500 GPU cores.

E' in corso di produzione una versione "GPU-accelerata" del codice sopra descritto, al fine di diminuire significativamente il tempo richiesto per i calcoli principali richiesti dal modello computazionale complessivo. I risultati preliminari mostrano fattori di accelerazione significativi, anche senza una specifica ottimizzazione del codice ed usando una sola unità GPU. L'obiettivo finale è ottenere dei modelli numerici che siano estremamente accurati dal punto di vista della descrizione geometrica, ma che richiedano un tempo computazionale ragionevolmente breve da renderli utilizzabili ai fini progettuali.

Questo lavoro è supportato in parte dal MIUR (PRIN 2008E7J7A3) e dalla società NVIDIA, tramite la donazione di diverse unità GPU.

- [1] A. Portone, F. Villone et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* **50** (2008) 085004
- [2] R. Albanese et al. *IEEE Trans. Mag.* **46** (2010) 2935
- [3] R. Albanese and G. Rubinacci, *IEE Proc.* **135A** (1988) 457
- [4] F. Villone, Y. Liu, G. Rubinacci, S. Ventre, *Nucl. Fusion* **50** (2010) 125011