

ANALISI NUMERICA DELL'INTERAZIONE MHD IN FLUSSI IPERSONICI

A. Cristofolini

Dipartimento di Ingegneria Elettrica,
Università di Bologna
Viale Risorgimento, 2, 40135, Bologna, Italy

I risultati della ricerca sperimentale condotta su tematiche riguardanti l'interazione magnetoplasmadinamica nello strato limite di un flusso ipersonico sono stati analizzati tramite un codice di calcolo sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Bologna. Le ricerche in oggetto sono svolte nell'ambito dei progetti Ps-Just e HPF, finanziati dalla Agenzia Spaziale Europea e rivolto all'indagine delle potenzialità presentate dall'utilizzo del processo di interazione MHD nel volo ipersonico. Lo sviluppo di applicazioni MHD in ambito aerospaziale potrebbe consentire il superamento dei limiti tecnologici tradizionali invalicati da più di un ventennio. L'applicazione descritta in questa nota prevede l'utilizzo dell'interazione MHD in regimi ipersonici per controllare i fenomeni che avvengono nello strato limite a ridosso del veicolo, come ad esempio la propagazione delle onde d'urto ed i fenomeni del trasporto. Questo permette un controllo del velivolo altrimenti impossibile con tecnologie tradizionali.

L'attività sperimentale è stata condotta presso i laboratori di Alta di Pisa [1]. In tale sede si è utilizzato la galleria del vento ipersonica ad alta entalpia (High-Enthalpy Arc-heated Tunnel HEAT). Nella galleria un arco ad impulsi riscalda un gas di argon, lo ionizza e lo accelera in un ugello di tipo convergente - divergente a Mach 6. Il getto di gas viene immesso in una camera da vuoto. All'uscita dell'ugello è posto il corpo di prova su cui avviene l'impatto col flusso ipersonico. In tale regione l'argon è ancora sufficientemente ionizzato per un adeguato processo MHD. L'interazione avviene nello strato d'urto al di sopra del provino.

Le equazioni che descrivono la fluidodinamica sono costituite dall'equazione di continuità di massa, momento ed energia, oltre che dall'equazione di stato dei gas. Per quanto riguarda l'elettrodinamica, invece, il modello fisico è stato ottenuto assumendo la condizione per la quale $Re_m \ll 1$, utilizzando le equazioni di Maxwell e la legge di Ohm generalizzata.

Il problema fluidodinamico, descritto da un sistema integro-differenziale iperbolico, viene discretizzato tramite un approccio ai volumi finiti "cell centered". I flussi sono valutati tramite una metodologia MUSCL. L'operatore ellittico che descrive l'elettrodinamica viene discretizzato con un metodo agli elementi finiti. L'integrazione nel tempo viene eseguita tramite un metodo Runge-Kutta del 4° ordine. Al generico passo temporale n , il codice fluidodinamico utilizza, per valutare i termini di sorgente dovuti all'interazione MHD, i valori calcolati dal solutore dell'elettrodinamica al passo precedente. Le grandezze fluidodinamiche calcolate vengono fornite come dati in ingresso al codice elettrodinamico.

La configurazione conica assialsimmetrica utilizzata per gli esperimenti consente implicitamente di annullare la componente di Faraday del campo elettrico. Il campo magnetico necessario per produrre l'interazione MHD è generato da un insieme di magneti permanenti ed è illustrato in Fig. 1. In Fig. 2 è mostrata la distribuzione di pressione calcolata con e senza interazione MHD. L'andamento delle correnti nel plasma è illustrato in Fig. 4, mentre in Fig. 5 e Fig. 6 vengono rispettivamente mostrato un confronto tra i valori calcolati e misurati delle pressioni e del potenziale elettrico lungo la parete del provino.

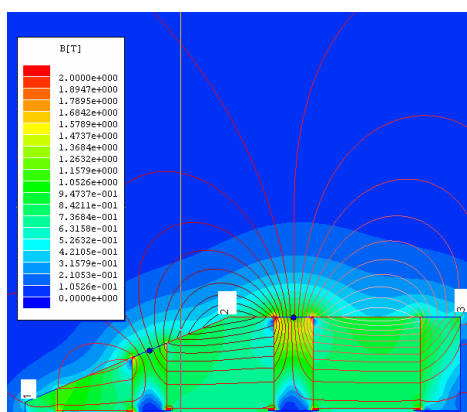


Fig. 1 distribuzione delle linee di flusso del campo di induzione magnetica

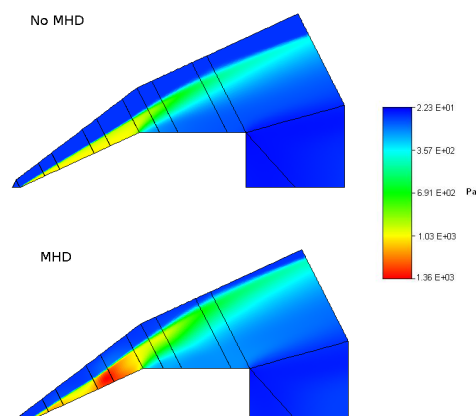


Fig. 2. Distribuzione della pressione con e senza interazione MHD

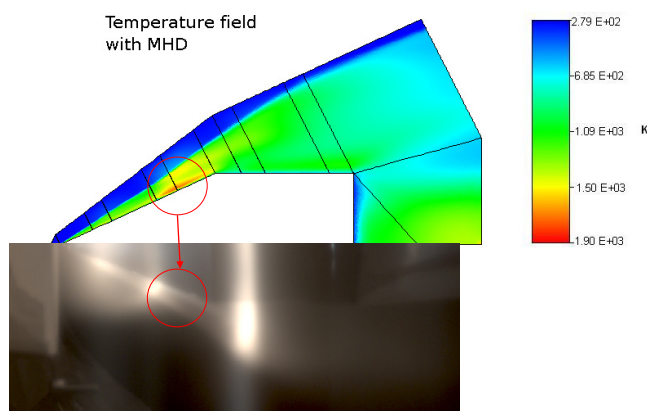


Fig. 3. Confronto qualitativo tra i risultati del calcolo e le immagini dell'esperimento.

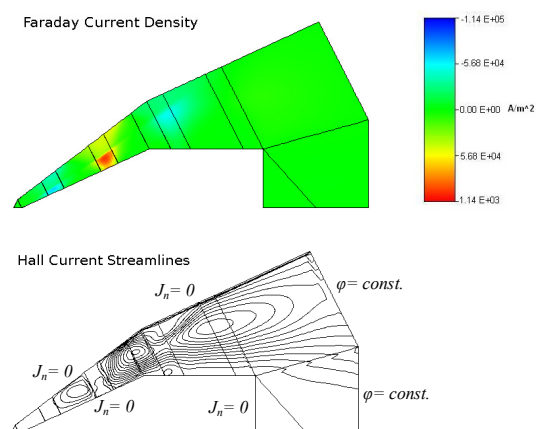


Fig. 4. Distribuzione delle correnti sul dominio di calcolo

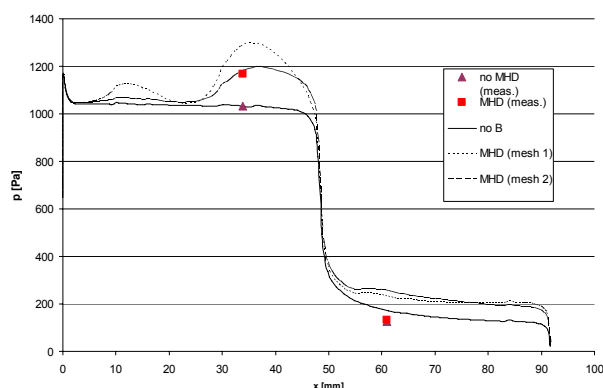


Fig. 5. Coefficiente di pressione lungo parete del corpo.

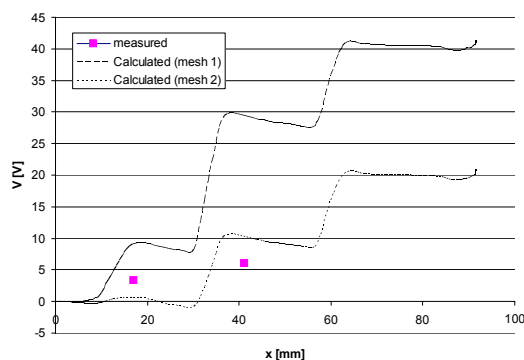


Fig. 6. Potenziale elettrico lungo parete del corpo.

- [1] A. Cristofolini, C. A. Borghi, M. R. Carraro, G. Neretti; A. Passaro; G. Fantoni, L. Biagioni, "Hypersonic MHD Interaction on a Conical Test Body With a Hall Electrical Connection", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 36, Issue 2, April 2008 pp:530 – 541
- [2] C.A. Borghi, M.R. Carraro, and A. Cristofolini, "Analysis of Magnetoplasdynamic Interaction in the Boundary Layer of a Hypersonic Vehicle", *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 41, No. 4, 2004.