

INTERAZIONE MAGNETOPLASMA DINAMICA NEL FLUSSO DELLO STATO D'URTO DI UN VEICOLO IPERSONICO

C.A. Borghi, A. Cristofolini, G. Neretti

Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università degli Studi di Bologna
Viale Risorgimento, 2, 40135, Bologna, Italy

In questa memoria vengono descritti i risultati delle ricerche condotte su tematiche riguardanti l'interazione magnetoplasma dinamica nello strato limite di un flusso ipersonico. L'applicazione oggetto dell'indagine sperimentale descritta in questa nota prevede lo sfruttamento dell'interazione MHD in regimi ipersonici per controllare i fenomeni che avvengono nello strato d'urto a ridosso del veicolo. Questo permette un controllo del velivolo altrimenti impossibile con tecnologie tradizionali. In particolare tale azione riguarda il controllo del flusso termico verso la parete con effetto di schermo termico, l'induzione di momenti torcenti sul velivolo stesso con controllo dell'assetto di volo, il possibile controllo delle onde elettromagnetiche che attraversano lo strato d'urto con la riduzione dei disturbi di trasmissione in fase di rientro in atmosfera di un veicolo ipersonico.

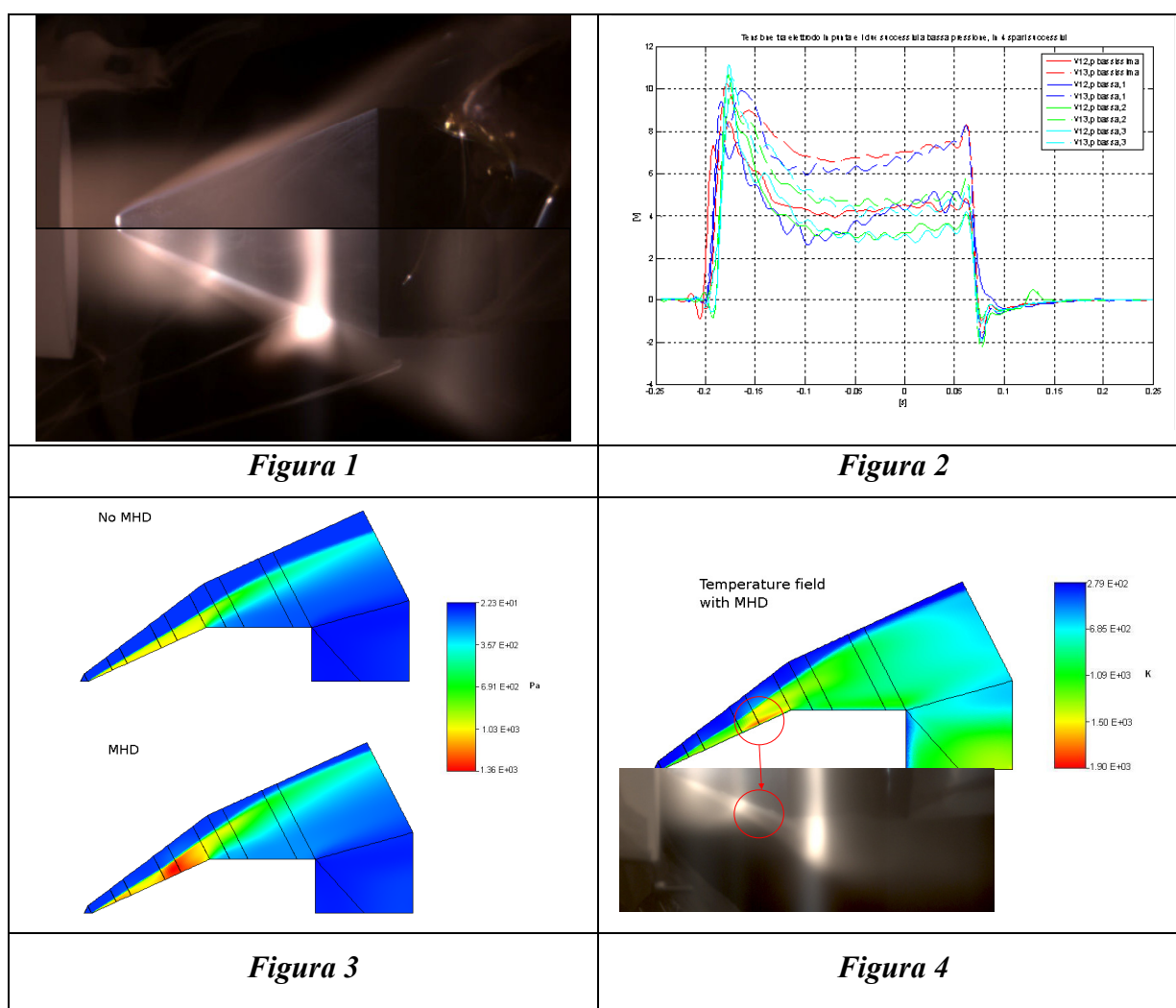
L'attività sviluppata in tale ambito dal gruppo del Laboratorio di Magnetofluidodinamica ed Ingegneria dei Plasmi riguarda sia uno studio teorico e di modellistica numerica che un'indagine sperimentale.

L'attività sperimentale è stata condotta in una galleria del vento ipersonica ad alta entalpia (Laboratori di ALTA S.p.A.). 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 di tre metri cubi di volume. 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. Sono stati utilizzati più provini con geometrie differenti. Il primo provino di essi ha geometria a rampa con campo di Hall (parallelo al flusso) in circuito aperto e campo di Faraday cortocircuitato da barre elettroniche che affiorano dalla superficie della rampa e sono perpendicolari al flusso. Il campo di induzione magnetica è ottenuto ponendo la rampa fra le espansioni polari di un elettromagnete ($B \cong 0.4$ T). Si sono poi utilizzati corpi di prova di configurazione assial-simmetrica di tipo conico. In tal caso il campo di Hall è ancora in circuito aperto ed il campo di Faraday è totalmente cortocircuitato all'interno del plasma. Questa particolare struttura permette di ottimizzare l'interazione MHD eliminando le cause di perdita dovute all'elevata resistività elettrica del plasma nelle immediate vicinanze della parete del provino. L'induzione magnetica in tal caso è ottenuta per mezzo di magneti permanenti. Il valore dell'induzione all'interno dello strato d'urto è di circa 0.8 T.

L'attività numerica ha permesso di mettere a punto un codice che integra elettrodinamica e fluidodinamica nell'ipotesi di regime magnetico diffusivo. La fluidodinamica si basa sulle equazioni di Navier-Stokes risolte numericamente da un algoritmo cell-centered ai volumi finiti. Viene allo scopo utilizzata una discretizzazione combinazione di uno schema upwind ed uno schema a gradiente centrato. A tale discretizzazione corrisponde un'accuratezza del secondo ordine. L'integrazione nel tempo viene eseguita tramite un metodo di Runge-Kutta del quarto ordine. L'elettrodinamica è basata sull'equazione di Ohm-Hall in forma con tensore conducibilità elettrica espresso da una matrice non simmetrica e sull'equazione di conserva-

zione della carica elettrica. La soluzione viene eseguita per mezzo di un metodo FEM. L'elettrodinamica viene descritta come sequenza di stati stazionari che si susseguono durante l'evoluzione temporale della fluidodinamica.

Gli esperimenti in argon hanno permesso di evidenziare un'interazione MHD di rilevante intensità. In figura 1 è mostrato il confronto di due test esperimento: il primo senza interazione MHD e il secondo con interazione. In figura 2 sono mostrati i potenziale dovuti al campo elettrico di Hall, misurati a varie distanze dal vertice del cono lungo la parete conica,. Tali potenziali corrispondono a campi elettrici di circa 500 V. In figura 3 sono mostrati alcuni risultati di simulazioni numeriche con e senza interazione MHD. In figura 4 è mostrato il confronto fra rilevazione sperimentale e risultati numerici. Il confronto fra risultati numerici e dati sperimentali ha messo in evidenza un accordo molto buono.



1. A. Cristofolini et al., *Hypersonic MHD Interaction on a Conical Test Body with a Hall Electrical Connection*, accepted for publication on IEEE Transactions on Plasma Science (Digital Object Identifier 10.1109/TPS.2008.918668).
2. A. Cristofolini, C.A. Borghi, and G. Colonna, *Numerical Analysis of the Experimental Results of the MHD Interaction around a Sharp Cone*, 16th International Conference on MHD Energy Conversion, Miami, Florida, June 2007, Paper AIAA 2007-4252.