

INTERAZIONE ELETTROIDRODINAMICA INDOTTA DA SCARICA A BARRIERA

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 sono presi in esame i meccanismi che inducono la generazione del plasma in una scarica a barriera e permettono il trasferimento di energia dal campo elettrico allo strato limite in un flusso a bassi valori del numero di Reynolds (interazione Elettroidrodinamica – EHD). L'applicazione di tale tecnologia appare di notevole interesse nel campo aeronautico ed in particolare con impatto aerofluidodinamico rilevante.

La scarica a barriera avviene quando due elettrodi, alimentati con tensioni di alcuni kV e frequenze dell'ordine del kHz, sono separati da una superficie di materiale dielettrico (vedi Figura 1). Durante un ciclo, al crescere della tensione, si generano filamenti di plasma che dal bordo di un elettrodo avanzano sulla superficie del dielettrico. Nel fronte di propagazione del plasma (sheath) è presente separazione di carica. Gli ioni di tale regione sono accelerati dal campo elettrico e urtando contro le altre particelle neutre del gas trasmettono a queste l'energia cinetica acquisita.

La forza per unità di volume, dovuta all'effetto elettrostatico sugli ioni è data da:

$$\mathbf{F} = \varepsilon_0 E \nabla \cdot \mathbf{E} \quad (1)$$

dove e , ε_0 ed $\mathbf{E}$ sono la carica elettronica, la costante dielettrica del vuoto ed il campo elettrico. Al di sopra della superficie del dielettrico tale forza induce un moto del gas che viene contrastato dalla forza che si origina a causa della viscosità del fluido. Tale forza per unità di volume, nella direzione del moto del fluido, ha la seguente espressione approssimata:

$$F \approx \frac{\tau}{\Delta y} \approx \mu \frac{\Delta u}{\Delta y^2} \quad (2)$$

Dove τ è il tensore degli stress viscosi, μ è il coefficiente di viscosità e Δu la variazione della velocità del fluido nell'intervallo Δy .

Nel Laboratorio di Magnetofluidodinamica ed Ingegneria dei Plasmi dell'Università di Bologna è stato realizzato un attuatore con scarica a barriera testato in una galleria del vento a bassi Reynolds. Il plasma è stato creato sopra un pannello piano, con venti coppie di elettrodi isolati da un pannello di vetronile (Figura 2). Il gap interelettrodico è di 1 mm, mentre lo spessore dell'isolante di 0,8 mm. Per analizzare il comportamento del plasma la tensione utilizzata è di 5kV e la frequenze è di 3, 6 e 9 kHz. Il pannello di plasma è stato testato all'interno di una galleria del vento a configurazione aperta di sezione di prova è di 120×140 mm, e con velocità da 0 a 32 m/s. Il gas di prova è costituito da aria. La velocità del fluido nello strato limite al di sopra della superficie è stato misurato per mezzo di un microtubo di Pitot mobile.

Per lo studio dei meccanismi di interazione EHD si sono fatti esperimenti a galleria spenta e flusso principale nullo. A causa dell'azione EHD lo strato d'aria immediatamente al di sopra dell'attuatore viene accelerato. In figura 3 sono riportate le misure a vari valori della frequenza di alimentazione. Per mezzo dei risultati sperimentali è stato possibile valutare sia la forza dovuta all'effetto elettrostatico data dall'eq. 1 che la forza dovuta all'attrito viscoso (eq. 2).

Per le espressioni delle due forze date dalle eq. 1 e 2, sono stati considerati valori medi delle grandezze in gioco. Le due forze sono risultate dello stesso ordine di grandezza. Ciò indica che il meccanismo, origine dell'interazione EHD, è dovuto principalmente all'accelerazione per effetto elettrostatico degli ioni del fronte di propagazione del plasma. Aumentando la frequenza di alimentazione il numero di cicli con cui il plasma viene creato aumenta. Ciò porta all'aumento del tempo di esistenza del fronte di propagazione del plasma e conseguentemente all'aumento della velocità del flusso di aria nello strato limite al di sopra dell'attuatore.

In figura 4 è mostrata l'azione EHD con conseguente aumento della velocità del flusso nello strato limite a velocità di 1 m/s. Negli esperimenti fatti si è stato misurato un effetto efficace dell'interazione EHD sul gas dello strato limite sino a velocità medie del flusso del gas in gal-leria di circa 20 m/s. Per velocità superiori non si sono registrate variazioni di rilievo.

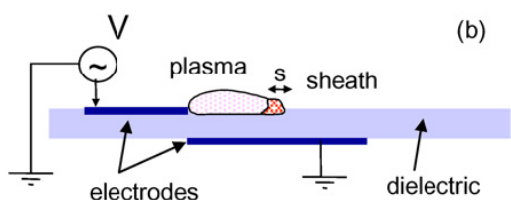


Figura 1



Figura 2

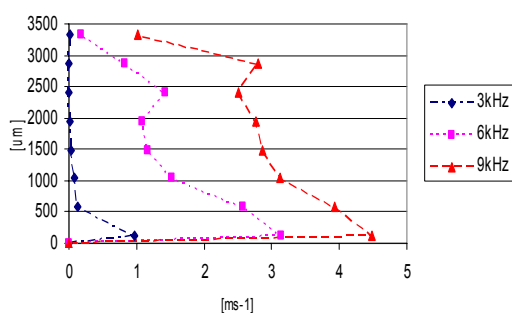


Figura 3

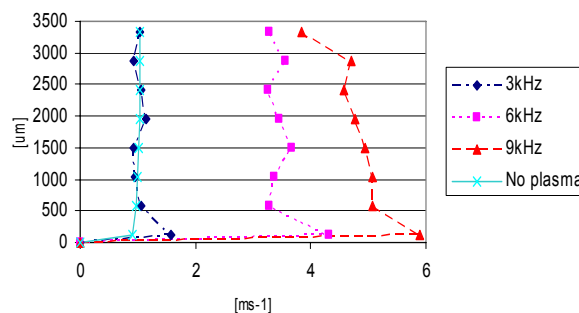


Figura 4

1. C.A. Borghi, M.R. Carraro, A. Cristofolini, and G. Neretti, *Experimental Investigation on the EHD Interaction Induced by a Dielectric Barrier Discharge*, accepted for publication in Journal of Applied Physics, Vol. 103, n. 6, March 2008 .
2. A. Cristofolini, C.A. Borghi, M.R. Carraro, and G. Neretti, *A Study of the Electrical Supply System of a Barrier Discharge for EHD Flow Acceleration*, 16th International Conference on MHD Energy Conversion, Miami, Florida, June 2007, Paper AIAA 2007-4516.
3. C.A. Borghi, M.R. Carraro, A. Cristofolini, and G. Neretti, *A Surface Barrier Discharge System for EHD Flow Acceleration*, 7th Workshop on Magneto-Plasma-Aerodynamics in Aerospace Applications, Moscow, April 2007.
4. C.A. Borghi, A. Cristofolini, M.R. Carraro, and G. Neretti, *An Analysis of a Three Phase Flat Parallel Uniform Barrier Discharge at Atmospheric Pressure*, 37th AIAA PDL Conference, Paper AIAA 2006-3380, San Francisco (California), June 2006.