

ANALISI DELL'INTERAZIONE ELETTROIDRODINAMICA INDOTTA DA SCARICA A BARRIERA

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

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

In questa memoria sono discussi gli ultimi studi condotti presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica sul flusso generato da una scarica a barriera (DBD) a pressione atmosferica. La DBD permette il trasferimento di energia elettrica alle particelle neutre dello strato limite (interazione Elettroidrodinamica – EHD). L'applicazione di tale tecnologia appare di notevole interesse nel campo aerodinamico e fluidodinamico utilizzata sia su profili alari che su palettamenti di turbina a gas.

La scarica a barriera viene generata quando due elettrodi, alimentati con tensioni alternate di alcuni kV e frequenze dell'ordine del kHz, sono separati da una superficie di materiale dielettrico. Per realizzare un attuatore fluidodinamico basato su tale tipologia di scarica, occorre che gli elettrodi siano sfalsati tra di loro (Fig. 1). Durante ogni ciclo del segnale di alimentazione, al crescere della tensione, si generano filamenti di plasma che dal bordo dell'elettrodo superiore avanzano sulla superficie del dielettrico. Nel fronte di propagazione del plasma 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. In tale modo viene direttamente effettuata una trasformazione da energia elettrica in energia cinetica senza l'ausilio di parti in movimento.

Presso il Laboratorio di Ingegneria Magnetofluidodinamica e Plasmi del Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Bologna si sono condotte indagini sui flussi generati da attuatori aerodinamici applicati a gas in quiete. La scarica a barriera è realizzata applicando tensioni fino a 35 kVpp e frequenze dell'ordine del kHz. Per valutare gli effetti dell'interazione EHD sono state utilizzate due tecniche diagnostiche distinte. La prima è consistita nell'utilizzo di un tubo di Pitot per misurare il profilo di velocità del flusso, mentre la seconda è basata sulle immagini Schlieren le quali permettono di visualizzare gradienti di densità del gas generati dal getto prodotto dall'attuatore.

La ricerca si è articolata in due fasi: nella prima si è studiato il regime transitorio fluidodinamico e le vorticosità per diverse condizioni di alimentazione e diversi materiali isolanti, mentre nella seconda si è studiato il regime stazionario che si instaura dopo alcuni centesimi di secondo dall'accensione del sistema.

Nell'analisi del regime transitorio si sono applicate tensioni di alimentazione fino a 35 kVpp e frequenze da 5 a 15 kHz ad attuatori realizzati utilizzando dielettrici in Kapton e Teflon, allo scopo di verificare quale configurazione garantisca il miglior trasferimento di energia cinetica al gas. La velocità dei vortici visualizzati dalla Schlieren varia da 0.55 m/s, per l'attuatore in Kapton, a 1.5 m/s per l'attuatore in Teflon (Fig. 2). Lo studio dei profili di velocità misurati in regime stazionario dimostra come le maggiori velocità raggiunte dall'attuatore in Teflon siano anche accompagnate da una maggiore efficienza.

L'analisi del regime stazionario è stata eseguita sull'attuatore realizzato in Teflon ed alimentato alla frequenza di 5kHz a tensioni variabili fino a 35kVpp. Dall'analisi del regime

stazionario è emersa l'esistenza di una relazione di proporzionalità tra velocità, misurata mediante Pitot, e densità relativa del gas, ricavata dalle immagini Schlieren. Il fattore di proporzionalità è indipendente dalle condizioni di alimentazione e dalla regione nella quale viene misurata la velocità (Fig. 3). Al fine di validare questo risultato sono state condotte simulazioni al computer per mezzo del software opensource OpenFOAM, modificando un solutore preesistente per simulare la forza di volume responsabile dell'interazione EHD e la dissipazione ohmica nel plasma. I risultati numerici hanno confermato quanto ottenuto per via sperimentale, evidenziando l'esistenza di un rapporto costante tra velocità e densità relativa (Fig. 4). Questo è dovuto alle proprietà fisiche del flusso generate dalla DBD, all'interno del quale il calore viene principalmente trasportato a causa di fenomeni convettivi.

Il valore della costante che lega le due grandezze è sostanzialmente dipendente dall'apparato di misura Schlieren e le ricerche attualmente in corso sono volte alla determinazione di questo legame, al fine di approntare una nuova diagnostica non invasiva di tipo qualitativo e quantitativo per lo studio degli attuatori aerodinamici DBD.

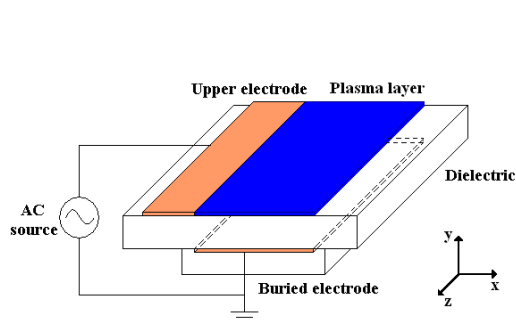


Fig. 1. Schema di un attuttore elettrodrodinamico basato su scarica a barriera

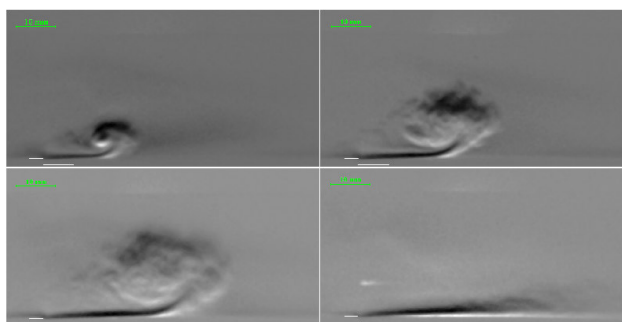


Fig. 2: Sviluppo delle vorticosità fotografate a 6, 14, 30 ms dopo l'accensione del dispositivo. L'ultima immagine è riferita al regime stazionario.

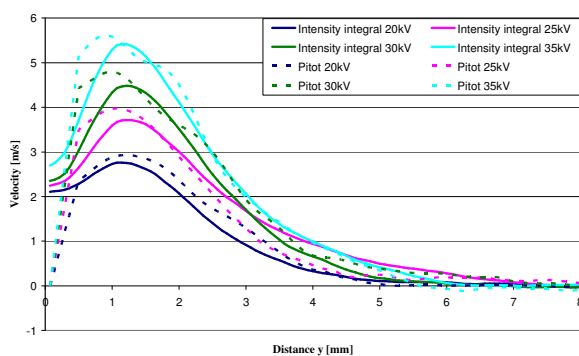


Fig. 3: Confronto tra i profili di velocità misurati con tubo di Pitot e di densità ricavati dalle immagini Schlieren per diverse condizioni di alimentazione ($x = 30 \text{ mm}$).

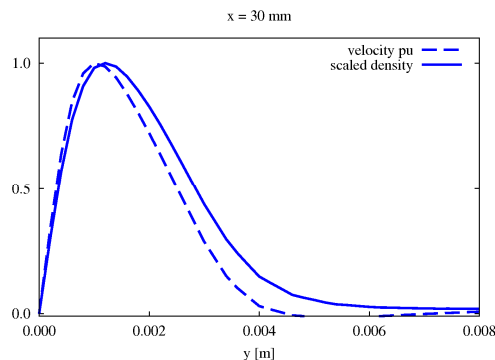


Fig. 4: Risultati delle simulazioni: confronto tra i valori di velocità normalizzata e di densità, scalata.

1. C.A. Borghi, A. Cristofolini and G.Neretti, "Experimental investigation on the energy transfer in a DBD plasma actuator for airflow control", 10th International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics, Moscow, Russia, March 22-24, 2011.

2. C.A. Borghi, A. Cristofolini and G.Neretti, "Determination of the velocity profile in a DBD plasma flow by means of Schlieren imaging", 10th International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics, Moscow, Russia, March 22-24, 2011.