



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA
E DELL'INFORMAZIONE "GUGLIELMO MARCONI"

Modelli Numerici Avanzati di Scariche a Corona per Propulsione Ionica in Atmosfera

Descrizione del progetto

L'attività oggetto del presente incarico di ricerca si inserisce nell'ambito del progetto europeo IPROP – Ionic PROPulsion in Atmosphere, dedicato allo sviluppo di sistemi innovativi di propulsione elettroidrodinamica (ElectroHydroDynamic, EHD) per applicazioni aeronautiche.

La propulsione mediante accelerazione di specie ioniche rappresenta una tecnologia consolidata nelle applicazioni spaziali, ma ancora relativamente poco studiata in atmosfera. Essa consente la generazione diretta della spinta mediante l'interazione tra il campo elettrico e le specie cariche prodotte da una scarica a corona, eliminando organi meccanici in movimento, riducendo rumorosità e manutenzione e rendendo possibile l'alimentazione esclusivamente mediante energia elettrica, anche proveniente da fonti rinnovabili.

L'obiettivo dell'incarico consiste nello sviluppo e nel perfezionamento di modelli numerici avanzati per la simulazione della scarica a corona e dei fenomeni EHD ad essa associati. Le attività prenderanno avvio dal modello drift-diffusion già sviluppato presso il Laboratorio di Magnetofluidodinamica e Plasmi (LIMP) del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione dell'Università di Bologna, basato sulla soluzione autoconsistente delle equazioni di continuità per elettroni e ioni accoppiate con l'equazione di Poisson per il campo elettrico.

Una prima linea di attività riguarderà il perfezionamento della descrizione dei processi cinetici responsabili della formazione del plasma. In particolare, verranno implementati modelli avanzati per la valutazione dei termini sorgente delle equazioni drift-diffusion, confrontando approcci basati sulla Local Field Approximation (LFA), mediante accoppiamento con un solutore locale dell'equazione di Boltzmann, e modelli basati sulla soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia media degli elettroni. Particolare attenzione sarà inoltre dedicata all'introduzione di modelli di fotoionizzazione, fenomeno fondamentale per una corretta descrizione della propagazione delle scariche positive in aria.

Il modello verrà successivamente esteso allo studio di condizioni operative caratterizzate da pressione e temperatura ridotte, corrispondenti alle condizioni atmosferiche riscontrabili fino a circa 20.000 m di quota, al fine di analizzare il comportamento dei propulsori ionici in scenari di impiego aeronautico ad alta quota.

Una seconda attività riguarderà lo sviluppo di un modello multifisico accoppiato plasma-fluido. In una prima fase sarà implementato un accoppiamento ad una via (one-way coupling) tra il modello drift-diffusion e un solutore fluidodinamico (CFD), nel quale la distribuzione spaziale della forza EHD calcolata dal modello di plasma costituirà il termine sorgente delle equazioni del moto del fluido. Successivamente verrà sviluppato un accoppiamento a due vie (two-way coupling), nel quale il campo di velocità restituito dal modello CFD verrà reintrodotta nelle equazioni drift-diffusion attraverso i termini convettivi, consentendo una descrizione completamente autoconsistente dell'interazione tra scarica elettrica e flusso neutro.

Infine, i modelli sviluppati saranno validati mediante l'analisi dei dati sperimentali ottenuti nell'ambito del progetto IPROP, con particolare riferimento ai propulsori a corona multistadio



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA
E DELL'INFORMAZIONE "GUGLIELMO MARCONI"

sviluppati nel corso del progetto. Verranno confrontate simulazioni numeriche e risultati sperimentali relativi alle caratteristiche corrente-tensione, alla distribuzione del campo elettrico, alla forza EHD e alla spinta sviluppata, con l'obiettivo di individuare i principali meccanismi fisici che governano le prestazioni dei dispositivi e di fornire strumenti predittivi per la progettazione di future configurazioni propulsive.

L'attività consentirà di consolidare le competenze del gruppo di ricerca nel settore della modellazione numerica di plasmi debolmente ionizzati e della propulsione EHD, contribuendo allo sviluppo di metodologie di simulazione avanzate per applicazioni aeronautiche innovative.

Piano delle attività

L'attività di ricerca avrà una durata di **12 mesi** e sarà articolata nelle seguenti fasi.

Fase 1 – Sviluppo del modello di plasma (Mesi 1–5)

- Studio della letteratura scientifica e analisi dei modelli disponibili per la fotoionizzazione.
- Implementazione dei modelli di fotoionizzazione e valutazione critica delle prestazioni.
- Aggiornamento del modello drift-diffusion sviluppato presso il LIMP.

Fase 2 – Estensione del modello e simulazioni in quota (Mesi 3–6)

- Implementazione di modelli per condizioni atmosferiche a bassa pressione e bassa temperatura.
- Simulazione del funzionamento dei propulsori EHD fino a circa 20.000 m di quota.
- Analisi dell'influenza delle condizioni atmosferiche sulle prestazioni propulsive.

Fase 3 – Accoppiamento plasma-fluido (Mesi 7–9)

- Implementazione dell'accoppiamento drift-diffusion/CFD ad una via.
- Sviluppo dell'accoppiamento bidirezionale plasma-fluido.
- Analisi dell'interazione tra forza elettroidrodinamica, ionic wind e distribuzione delle specie cariche.

Fase 4 – Validazione sperimentale e analisi dei risultati (Mesi 6–12)

- Analisi dei dati sperimentali acquisiti nell'ambito del progetto IPROP.
- Confronto tra risultati sperimentali e simulazioni numeriche.
- Validazione del modello sviluppato e analisi dei meccanismi fisici responsabili della spinta.

Il richiedente

Prof. Andrea Cristofolini

Università di Bologna

Scuola di Ingegneria e Architettura

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi"

Viale Risorgimento, 2,

40136, Bologna

Tel: +39 051 2093568

e-mail: andrea.cristofolini@unibo.it