

# INDAGINE NUMERICA E SPERIMENTALE DI UNA SCARICA A CORONA IN CORRENTE CONTINUA A PRESSIONE ATMOSFERICA

G. Mongaretto, A. Popoli, G. Neretti, A. Cristofolini, F. Ragazzi, G. Pierotti

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione  
Università di Bologna  
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

La propulsione ionica per applicazioni atmosferiche è un tema emergente che sta acquisendo un notevole slancio all'interno della comunità scientifica. Ciò è dovuto al suo potenziale nell'ambito dei sistemi di propulsione a basso costo e alta durabilità, basati sulla forza elettro idrodinamica (EHD) generata da diversi tipi di scariche (es: corona, DBD). La caratterizzazione di queste scariche riveste un ruolo cruciale nella comprensione e nel miglioramento delle prestazioni dei generatori di vento ionico e, di conseguenza, nell'ottimizzazione dei sistemi di propulsione.

La presente memoria descrive il lavoro di tipo modellistico svolto dall'unità di ricerca nell'ambito del progetto europeo Ionic Propulsion in Atmosphere – IPROP. In tale ambito, il gruppo di ricerca ha sviluppato codici di calcolo 1D e 2D basati su un modello *drift-diffusion reattivo*, per studiare il comportamento di una scarica a corona positiva in corrente continua in aria. Il modello fisico è costituito dalle equazioni di continuità per le specie di interesse nell'approssimazione *drift-diffusion*, accoppiate con l'equazione di Poisson:

$$\frac{\partial n_s}{\partial t} + \nabla \cdot \left( -D_s \nabla n_s - \frac{q_s}{|q_s|} \mu_s n_s \nabla \varphi \right) = \Omega_s \quad (1)$$

Nell'equazione (1) il termine sorgente per la generica specie  $s$  tiene conto delle reazioni di formazione della specie stessa (ionizzazioni, ricombinazioni, attaccamento...). Tale termine di sorgente può essere calcolato utilizzando tre modelli cinetici per l'aria a complessità crescente, rispettivamente con tre specie (e, I<sup>+</sup>, I<sup>-</sup>) [2], sei specie (e, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>) [3] e nove specie (N, O e O<sub>4</sub><sup>+</sup> aggiunti al modello precedente) [4], sotto l'approssimazione del campo locale  $Te = Te(E/N)$ .

Per il problema elettrostatico sono state applicate condizioni al contorno di Dirichlet, mentre per il problema *drift-diffusion* sono state adottate le condizioni proposte in [5]. Inizialmente è stato studiato il comportamento della scarica su una geometria filo-cilindro coassiale ( $r_e = 50 \mu\text{m}$ ,  $r_c = 3.75 \text{ cm}$ ) seguita da una validazione tramite dati sperimentali ottenuti in laboratorio. Successivamente, grazie allo sviluppo del modello 2D, è stata studiata una geometria filo-filo ( $r_e = 50 \mu\text{m}$ ,  $r_c = 20 \text{ mm}$ , distanza emettitore-collettore: 30mm). Le caratteristiche I-V tracciate in fig. 1 mostrano una buona concordanza tra i risultati numerici ed sperimentali. Il modello *drift-diffusion*, considerando gli schemi cinetici a sei specie e a nove specie, riproduce coerentemente la curva sperimentale su un ampio intervallo di tensioni. Al contrario, considerando lo schema a tre specie, le simulazioni predicono correnti più alte rispetto a quelle osservate sperimentalmente.

Dopo la validazione del modello a sei specie come una rappresentazione affidabile della cinetica della scarica corona, è stata valutata la sua idoneità per valutare le concentrazioni delle specie chimiche nella geometria bidimensionale. Dalle figure 2, 3 e 4 è possibile osservare che la specie negativa dominante nella regione di drift è l'O<sub>2</sub><sup>-</sup>, che si forma rapidamente per attaccamento nelle vicinanze del collettore. Nel caso considerato, la densità delle specie negative è tipicamente inferiore di due ordini di grandezza rispetto a quella delle specie positive. Di conseguenza, la densità complessiva di carica risulta principalmente determinata dagli ioni positivi.

I futuri sviluppi delle attività di ricerca si concentreranno sullo studio di geometrie più complesse, al fine di individuare la configurazione ottimale per massimizzare le prestazioni dei propulsori a vento ionico.

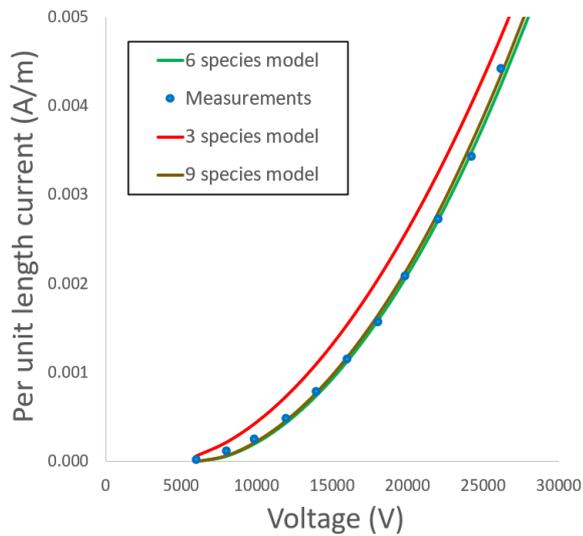


Fig. 1. Confronto fra le correnti elettriche ottenute da simulazioni e da misure sperimentali.

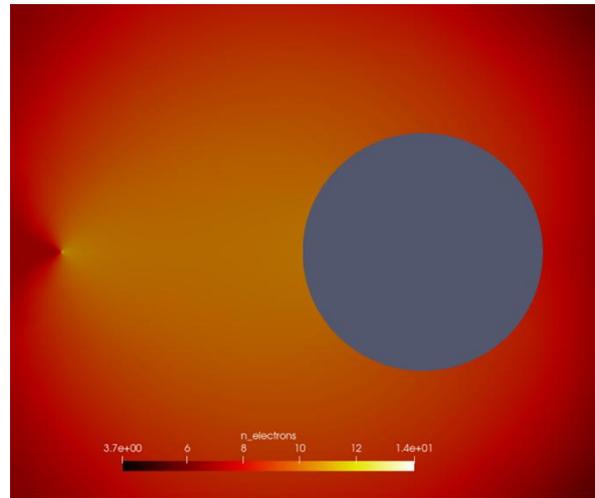


Fig. 2. Distribuzione degli elettroni a regime ( $\log_{10}$  della densità).

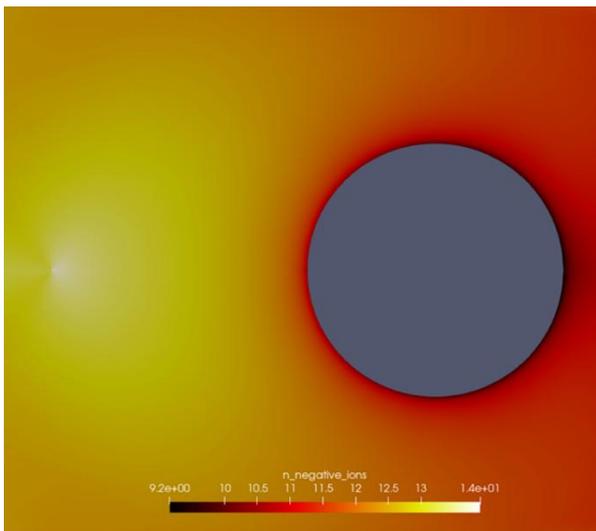


Fig. 3. Distribuzione degli ioni positivi a regime ( $\log_{10}$  della densità).

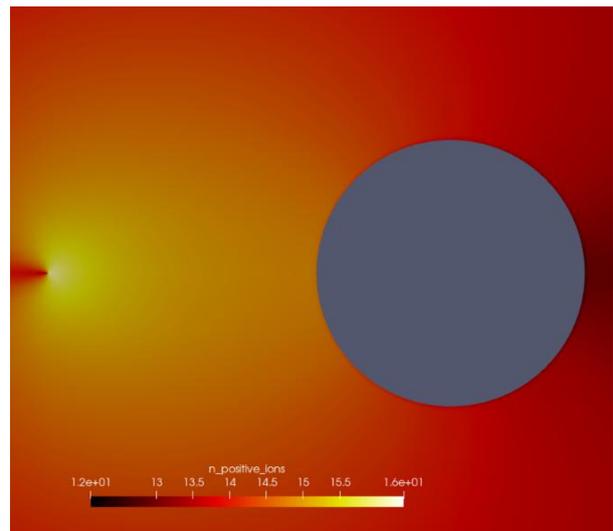


Fig. 4. Distribuzione degli ioni negativi a regime ( $\log_{10}$  della densità).

## Bibliografia

- [1] C. E. D. Riboldi, M. Belan, S. Cacciola, R. Terenzi, S. Trovato, D. Uselli, G. Familiari *et al.*, "Preliminary sizing of high-altitude airships featuring atmospheric ionic thrusters: An initial feasibility assessment," *Aerospace*, vol. 11, no. 7, pp. 1-26, 2024.
- [2] R. Morrow and J. J. Lowke, "Streamer propagation in air", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 30 614 vol. 30 no. 614, 1997.
- [3] B. Parent, S. O. Macheret, and M. N. Shneider, "Electron and ion transport equations in computational weakly-ionized plasmadynamics", *Journal of Computational Physics* 259 51-69, 2014
- [4] V.Y. Kozhevnikov *et al.*, "Key Modes of Ignition and Maintenance of Corona Discharge in Air", *Energies* vol. 16 no. 13 4861, 2023.
- [5] V. V. Gorin, A. A. Kudryavtsev, J. Yao, C. Yuan and Z. Zhou, "Boundary conditions for drift-diffusion equations in gas-discharge plasmas", *Phys. Plasmas*, vol. 27 013505, 2020.

ORCID logo

;

ORCID logo

;

ORCID logo

;

ORCID logo

;

ORCID logo

Crossmark: Check for Updates

Author & Article Information

Phys. Plasmas 27, 013505 (2020)