

DIAGNOSTICA NON-INTRUSIVA DELLE CARATTERISTICHE DEL PLASMA DI UN FLUSSO IPERSONICO DI ARGON

C.A. Borghi, A. Cristofolini, V.M. Granciu, G. Neretti

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

Questa memoria riguarda uno studio sperimentale per la caratterizzazione del plasma in un flusso ipersonico di argon. Gli esperimenti sono stati condotti nella galleria ipersonica HEAT mostrata in figura 1. L'argon viene riscaldato da una scarica elettrica (di potenza fino a 260 kW e corrente fino a 630 A) per tempi di 200-500 ms. La camera di scarica è mostrata in azzurro in figura 1. Il gas viene accelerato da un ugello (viola in figura) a Mach 6.

In questa nota vengono descritti alcuni metodi diagnostici adottati per la caratterizzazione del plasma. Tali metodi riguardano l'elaborazione dei dati spettrografici ed dell'assorbimento di micro-onde rilevati in camera di scarica ed all'uscita dell'ugello. Le misure spettrografiche sono eseguite con un monocromatore Jobin-Yvon Hr 460 (460 mm di focale) accoppiato con camera CCD di tipo PCO CCD ed otturazione veloce (100 ns). Le misure ad assorbimento di micro-onde sono state eseguite per mezzo di un generatore di micro-onde di tipo Gigatronics 1018-009 (50 MHz – 18.5 GHz) e rivelatore a cristallo HP8472A con banda passante di 10 MHz – 18.5 GHz.

La temperatura elettronica in camera di scarica è stata ricavata dalle misure spettrografiche con quattro differenti metodi: dal Boltzmann plot ottenuto dall'emissione di linea dell'argon neutro (ArI in tabella 1), dal Boltzmann plot dall'emissione di linea dell'argon singolarmente ionizzato (ArII), dall'emissione del continuo di ricombinazione radiativa (Continuo), infine dalla combinazione della linea dell'argon neutro a 430 nm e l'emissione ad una data frequenza del continuo di ricombinazione (ArI (430 nm)-continuo). I risultati mostrati in tabella 1 sono ottenuti per tre differenti pressioni: 0.54 bar (A in tabella), 0.61 bar (B) e 0.67 bar (C). Tali risultati appaiono coerenti fra loro e all'interno di un errore di misura di circa $\pm 15\%$.

In tabella 2 sono riportati i valori della densità elettronica alle condizioni A, B e C. Sono stati usati sei differenti metodi. I primi tre riguardano l'allargamento di linea della linea alfa dell'idrogeno (H alfa in tabella 2) e della linea beta dello stesso (H beta). L'idrogeno è contenuto nel gas in piccole quantità quale impurezza. L'allargamento di tipo Stark della linea beta è anche stato derivato secondo l'approssimazione di Griem (Griem H beta). Nota la temperatura elettronica dalle misure di tabella 1, dall'emissione del continuo di ricombinazione è stato possibile anche ricavare la densità degli elettroni (Continuo in tabella 2). Tale densità è poi stata ricavata dall'allargamento della linea a 430 nm dell'argon neutro (Ar I Line 430nm) e, supposto il plasma in equilibrio termodinamico locale alla temperatura elettronica precedentemente misurata (condizione assai probabile), dall'equazione di Saha. Dal confronto dei risultati riportati in tabella 2 appaiono affidabili le misure ottenute dall'allargamento dell'idrogeno beta nelle due approssimazioni considerate, dal continuo di ricombinazione e dall'equazione di Saha. Nei casi suddetti l'errore di misura appare per ridotto.

Infine si è considerata l'opportunità di eseguire misure all'uscita dell'ugello. In tal caso il plasma risulta essere notevolmente rarefatto ed il segnale spettrografico risulta molto basso e confrontabile col rumore di fondo. È stata misurata perciò la densità elettronica utilizzando la tecnica basata sull'assorbimento di micro-onde da parte del plasma. A tal fine è stata utilizzata

una pressione di 1.14 mbar. I risultati mostrati in tabella 3 riguardano tre istanti differenti durante la scarica (100, 200 e 300 ms dopo l'inizio della scarica stessa). I risultati all'uscita dell'ugello (ultima colonna in tabella) sono confrontati con i risultati della misura della densità elettronica in camera di scarica alla pressione ed agli istanti di tempo predetti, ottenuta dall'allargamento beta e da Saha. I risultati mostrano una densità elettronica sostanzialmente congelata all'interno del gas in espansione come anche previsto dalla teoria cinetica dell'argon a tali temperature e pressioni.

Tabella 1

	Ar I	Ar II	Continuo	ArI (430 nm)-continuo
condition	[eV]	[eV]	[eV]	[eV]
A	0.846215	0.737968	0.745046766	0.920372285
B	0.757284	0.698636	0.700435705	0.80317132
C	1.06438	0.638848	0.646607617	0.749741468

Tabella 2

	H alpha	H beta	Griem H beta	Continuo	Ar I Line 430nm	Saha
condition	[m-3]	[m-3]	[m-3]	[m-3]	[m-3]	[m-3]
A	8.5E+21	2.81E+21	3.00E+21	3.20E+21	1.55E+22	3.35E+21
B	8.05E+21	2.38E+21	2.70E+21	2.80E+21	1.39E+22	1.89E+21
C	6.12E+21	1.84E+21	1.90E+21	1.30E+21	1.20E+22	8.00E+20

Tabella 3

	Camera di scarica			Uscita dall'ugello
	H beta	H beta [G]	Saha	
[ms]	[m ⁻³]	[m ⁻³]	[m ⁻³]	[m ⁻³]
100	3.67E+20	3.54E+20	3.04E+20	3.15E+18
200	4.60E+20	4.90E+20	3.42E+20	3.82E+18
290	5.13E+20	5.30E+20	4.61E+20	4.30E+18

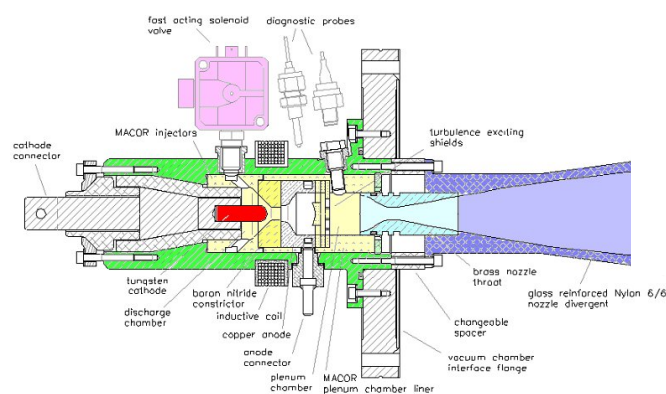


Figura 1

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 et al., *Non-Intrusive Characterization of the Ionized Flow Produced by the Nozzle of a Hypersonic Wind Tunnel*, 14th AIAA/AHI Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Paper AIAA 2006-8050, Canberra (Australia), November 2007.