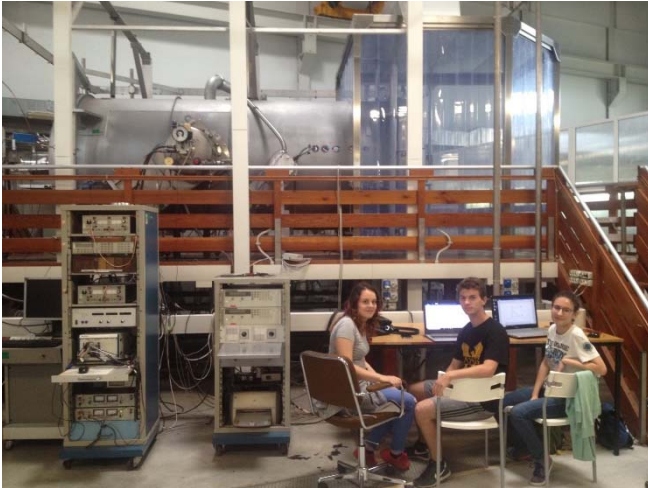


Report del percorso di Alternanza Scuola Lavoro "Camera a Plasma", presso l'INAF-IAPS di Roma, anno 2017/2018

A cura degli studenti del Liceo Scientifico Tullio Levi Civita: Federico Reali, Claudia Fosco, Sara Moscetti

Supervisione progetto (Tutor esterno): Piero Diego



In questo percorso di alternanza scuola-lavoro, noi ragazzi ci siamo occupati dell'utilizzo di una camera a plasma, strumento che riproduce il plasma spaziale per effettuare test e calibrazioni su strumenti e parti di satelliti destinati a volare nella ionosfera terrestre. Durante l'esperienza ci siamo occupati di effettuare alcuni esperimenti per spiegarne l'utilizzo e verificarne le funzionalità. La camera viene utilizzata principalmente per test di strumenti spaziali che effettuano misure di plasma ma anche altri tipi di strumenti destinati ad operare immersi nel plasma spaziale.

Il plasma può essere considerato il quarto stato della materia e compone il 99.9% della materia presente nell'Universo. Esso è semplicemente un gas ionizzato che si mantiene globalmente neutro per il sostanziale equilibrio tra cariche positive e negative, cioè quando $n_e = n_i$ (n_e = densità di elettroni, n_i = densità di ioni). All'interno della camera, si cerca di riprodurre un plasma che abbia caratteristiche simili a quello presente nella ionosfera ad un'altitudine compresa tra circa 200 km e 700 km dove vi è situata la cosiddetta LEO (Low Earth Orbit), in cui orbitano molti satelliti di uso scientifico, telecomunicazioni, e difesa. Prima di produrre il plasma all'interno della camera, però, dobbiamo arrivare ad una condizione di Alto Vuoto per raggiungere la condizione di non-collisionalità tra particelle.

Per raggiungere la condizione di Alto Vuoto all'interno della camera, bisogna passare attraverso quattro stadi principali che si avvalgono dell'utilizzo di tre tipologie di pompe.

Il plasma viene iniettato nella camera da una sorgente di plasma di tipo Kaufmann che utilizza Argon ($M = 40$) elemento la cui massa è confrontabile con quella delle molecole biatomiche presenti nella ionosfera. Una volta generato plasma dal gas, questo viene accelerato dalla differenza di potenziale V tra sorgente e camera per far sì che raggiunga la velocità di circa 8 km/s (velocità dei satelliti nella LEO) così da rendere possibile la simulazione di compressione e scia (*ram e wake*) che hanno i satelliti.

Le correnti ioniche ed elettroniche I_i e I_e che vengono emesse dalla sorgente in queste condizioni valgono -5.25 mA e -5.15 mA.

La diagnostica utilizzata per verificare la conformità dei valori dei parametri di plasma, è composta dalle sonde *Langmuir Probes* e *Retarding Potential Analyzer*. Le *Langmuir Probes* permettono la misura di T_e , N_e , N_i , V_p e V_f .

Gli strumenti destinati ad operare immersi nel plasma spaziale raccolgono cariche elettriche e pertanto assumono un potenziale denominato potenziale di floating V_f (potenziale a cui si pone il corpo conduttore affinché la somma delle correnti che lo percorrono sia nulla: $\sum I_i = 0$). Questo dipende dalle varie caratteristiche del plasma, ovvero la densità, la temperatura elettronica, la velocità e il potenziale del plasma.

Oltre a questi, si aggiungono l'eventuale presenza di campi elettrici e magnetici. Le misure fatte nel corso di questa esperienza ci hanno permesso di evidenziare le dipendenze del V_f da alcuni di questi parametri.

Dipendenza del V_f dalla Densità di Plasma

Per prima cosa, si è cercato di osservare la variabilità indotta da variazioni di densità di plasma che si osservano a varie distanze dalla sorgente. Leggendo direttamente la tensione del Probe si è notata una diminuzione del voltaggio all'allontanarsi dalla sorgente di plasma. Per capire quindi il comportamento delle particelle, prima bisogna considerare le loro proprietà fisiche: gli elettroni, rispetto ai protoni e i neutroni hanno una massa decisamente inferiore (circa 2000 volte in meno). Perciò la traiettoria degli ioni è essenzialmente lungo l'asse centrale della camera, mentre gli elettroni, più leggeri e mobili, hanno un moto di agitazione termica per cui arrivano su un corpo immerso nel plasma da tutte le direzioni.

Dipendenza dal Potenziale di Plasma

È noto che il potenziale di un corpo conduttore immerso nel plasma assume un potenziale che si discosta dal potenziale del plasma in virtù della quantità di elettroni che raccoglie. Tale distanza dal livello di riferimento del plasma è dell'ordine di qualche (circa 5) kT_e dove k è la costante di Boltzmann e T_e è la temperatura degli elettroni. Pertanto, uno strumento per la misura del potenziale deve poter seguire le oscillazioni del plasma spaziale. Nel nostro sistema sperimentale abbiamo indotto le variazioni del potenziale di plasma con un generatore di onda quadra posto tra la sorgente e il GND.

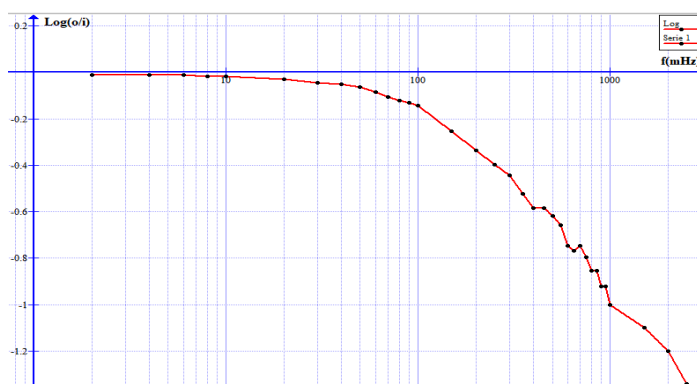


Fig. 1. Questo grafico rappresenta l'andamento della differenza dei potenziali di floating al variare della frequenza con ampiezza costante. La curva segue un andamento iperbolico dal momento che si avvicina in modo asintotico all'asse X dato che l'input e l'output sono messi in relazione da un logaritmo

L'ampiezza del segnale immesso per spostare il potenziale di plasma si riproduce completamente nella variazione del potenziale di floating nel range di ampiezza di 100-1000 mV. Se invece fissiamo l'ampiezza dell'onda e variamo la frequenza possiamo valutare la

capacità del sistema di adattarsi a variazioni più o meno veloci del potenziale di plasma. Il range di frequenze selezionato da 2 a 3000 mHz. Dalla Figura 1 si osserva che l'attenuazione dovuta a variazioni troppo rapide inizia a 100 mHz.

Dipendenza del V_f dal Campo Magnetico

Il plasma, essendo composto da particelle cariche, sente l'azione di campi magnetici che ne curvano la traiettoria con un raggio di curvatura inversamente proporzionale all'intensità del campo B e direttamente proporzionale alla massa della particella e alla componente ortogonale della sua velocità: $r = \frac{mv_{\perp}}{qB}$

Per questo motivo gli elettroni saranno fortemente deflessi anche da deboli campi magnetici. Nel corso della nostra misura abbiamo sperimentato tre diversi valori del campo magnetico assiale (i.e. linee del campo parallele al *Beam* di plasma). Questi valori sono: circa 0 ($B_{\parallel} \leq 0.01$ Gauss), 0.23 G (campo terrestre a basse latitudini) e 0.5 G (campo terrestre a medie-alte latitudini). La Figura 14 mostra una netta tendenza del V_f a diminuire per campi magnetici assiali crescenti.

All'aumentare dell'intensità del campo magnetico parallelo gli elettroni più caldi non possono più sfuggire e restano confinati tra le linee del campo magnetico. Pertanto, il sensore raccoglie una maggiore quantità di elettroni ed aggiusta il suo potenziale di equilibrio V_f verso valori più negativi.