

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

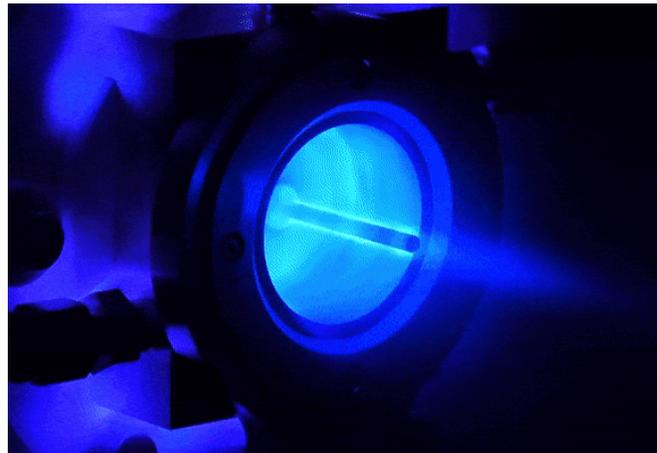
***Relazione per la prova finale
«La propulsione al plasma in ambito
spaziale»***

Tutor universitario: Prof. ssa Bertani Roberta

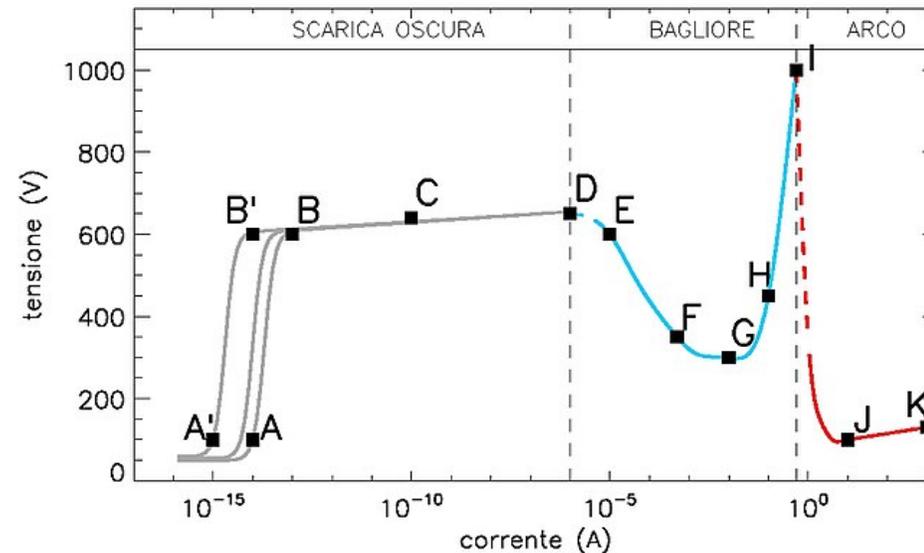
Laureando: Matteo Grena

Padova, 25/11/2022

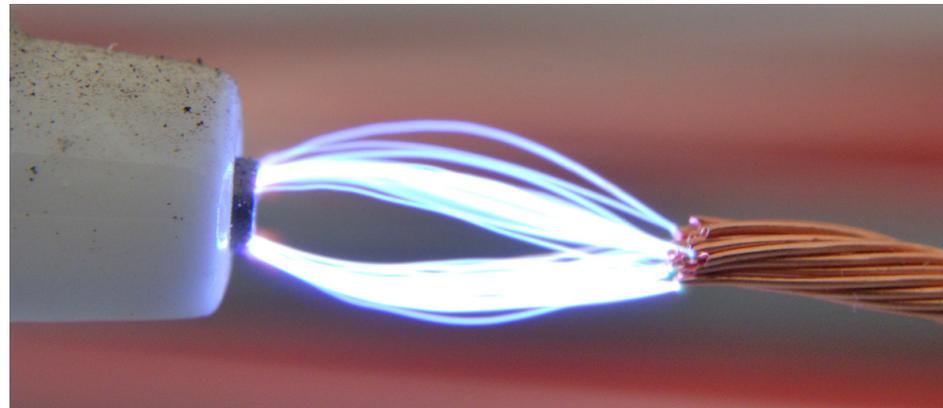
- Tra i molti modi che abbiamo per raggiungere le stelle ce ne è sempre stato uno che mi ha affascinato: La propulsione al plasma.
- Il termine plasma fu inizialmente usato da **Irving Langmuir** e **Lewi Tonks** (1929). Tuttavia non fu prima del 1952 che assunse il significato che utilizziamo ancora oggi, quando **David Bohm** e **David Pines** lo attribuirono a *un gas fortemente ionizzato e, nel complesso, elettricamente neutro*.
- In questa presentazione voglio andare ad analizzare le tecnologie più diffuse per ottenere una propulsione al plasma ed esporre alcuni progetti futuri che potrebbero permetterci un enorme salto in avanti per quanto riguarda l'esplorazione spaziale.



- **La curva di Paschen** stabilisce il legame tra la *tensione di "breakdown"* (per cui si forma il plasma) ed il *prodotto tra pressione e distanza degli elettrodi*.
- Una miscela gassosa posta tra le piastre di un condensatore si comporta come un isolante elettrico. Applicando una tensione crescente si verificherà il fenomeno di "breakdown".
- Aumentando la tensione applicata si osserva un aumento della corrente fino al raggiungimento di un valore di saturazione ("*Dark Discharge*"). Un certo numero di elettroni vengono emessi dalla piastra carica del condensatore e urtano le molecole del gas dando luogo ad alcune reazioni di ionizzazione.

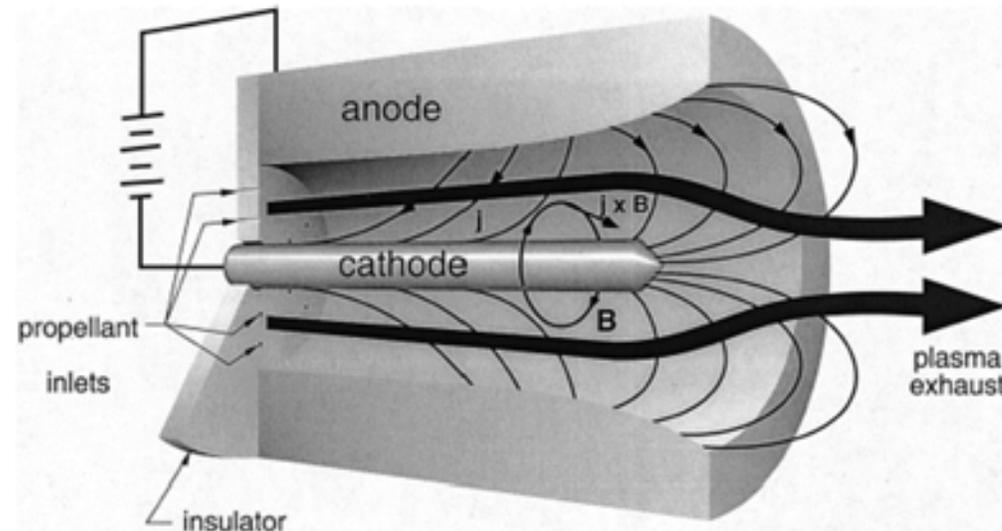


- Gli ioni generati dalle reazioni di ionizzazione hanno carica positiva e si spostano in direzione opposta rispetto agli elettroni. Ogni ione che collide con l'elettrodo di partenza ha una certa probabilità di emettere un nuovo elettrone che è in grado di innescare altre reazioni di ionizzazione. *La formazione del plasma è accompagnata dalla formazione di luce.*
- Se a questo punto la tensione ai capi del tubo aumenta, la scarica passa dal regime di "glow" a quello di arco: la luminosità della scarica aumenta ancora, e la tensione subisce un altro brusco. Questo regime è caratterizzato da correnti elettroniche elevate che vengono trasferite da un elettrodo all'altro con la **formazione di archi**.
- E' proprio la formazione di tali archi a rappresentare un problema per l'esplorazione spaziale; infatti, all'interno della nostra atmosfera abbiamo una alta concentrazione di plasma. Tale «*Plasma Enviroments*» porta alla formazione di interferenze elettromagnetiche e archi tra superfici di un mezzo spaziale con tensione diversa.

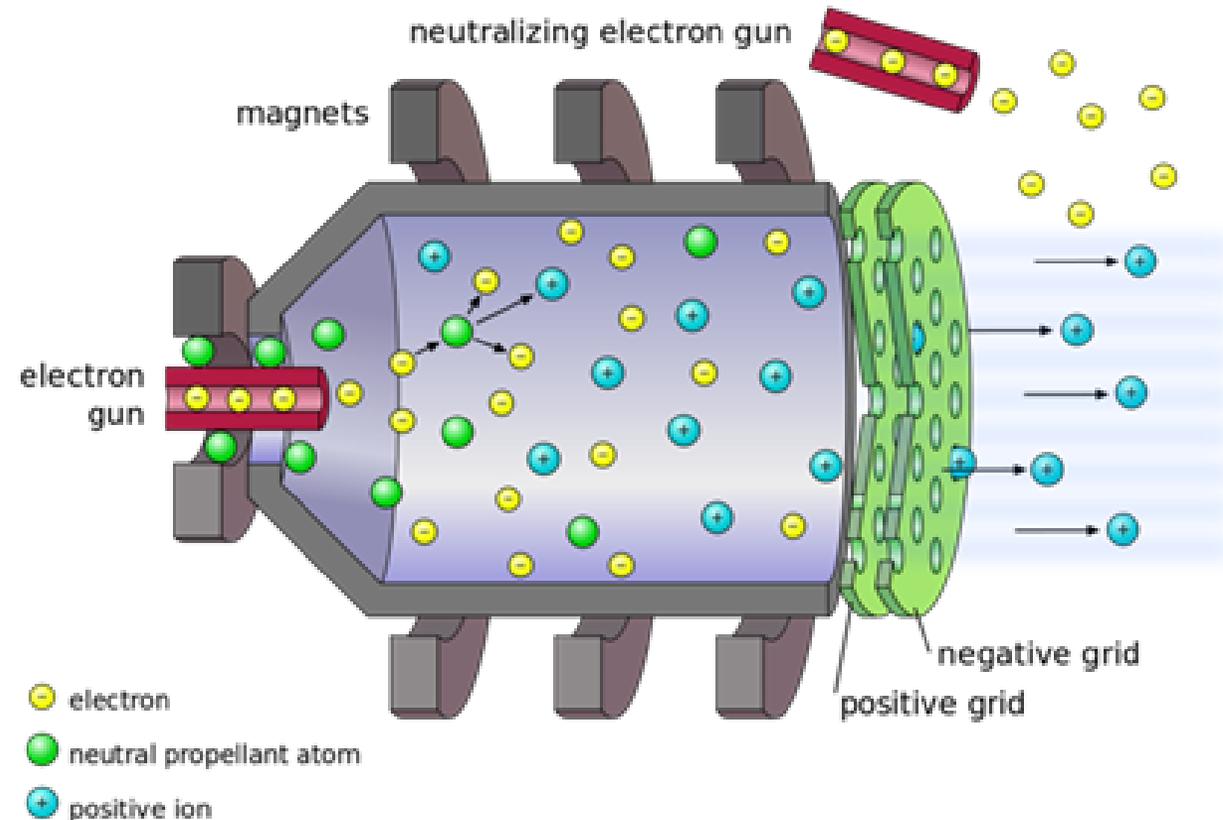


- Il **Pulse Laser Propulsion** (1972) è un metodo per generare una spinta su di un mezzo basato sul colpire un bersaglio con impulsi laser generando vapore che forma plasma.
- La descrizione di tale fenomeno e l'evoluzione del plasma può essere divisa in 3 fasi:
 - *Conduzione di calore, fusione e processo di evaporazione.*
 - *Processo formazione plasma.*
 - *Processo di espansione del plasma.*
- Per valutarne l'efficienza si tiene in considerazione il Coefficiente di accoppiamento $Cm = \frac{M*V}{E}$. Basandoci sulla legge della conservazione dei momenti l'espressione per calcolare il Cm diventa $Cm = \frac{m*\Delta v}{E} = \frac{F*t}{P*t} = \frac{F}{P}$.
- Un altro parametro importante è l'impulso specifico $I(s) = \frac{M*V}{mg}$ che combinata con l'equazione precedente diventa $I(s) = \frac{\Delta v}{g}$, avendo questo valore posso sapere la porzione di energia convertita in energia cinetica
$$\eta = \frac{1}{2} * Cm * g * I(s)$$

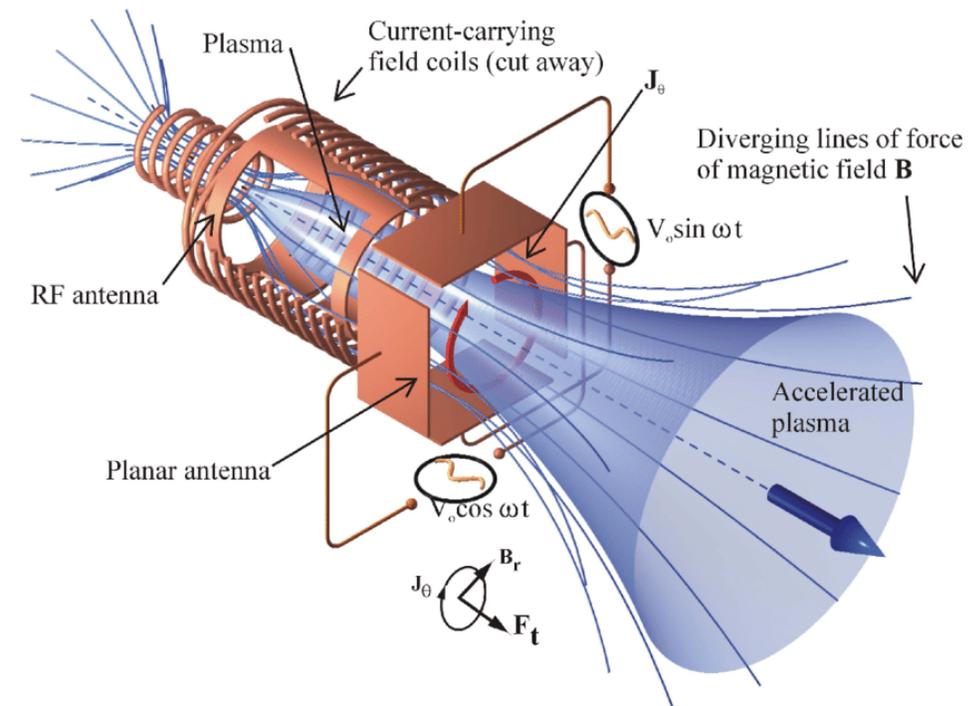
- Il **Propulsore Magnetoplasma dinamico** (MPD o MPDT) usa la forza di Lorentz per generare una spinta. È indicato anche come "Lorentz Force Accelerator (LFA)«
- Generalmente, un propellente allo stato gassoso viene ionizzato e immesso in una camera di accelerazione, dove viene creato un campo elettromagnetico. Le particelle vengono poi spinte verso il condotto d'uscita dalla forza di Lorentz, risultante dall'interazione tra la corrente elettrica del flusso di plasma e il campo magnetico.
- Ci sono due tipi principali di propulsori MPD: a campo magnetico applicato oppure auto-indotto.



- Il **Propulsore Ionico Elettrostatico** è un modello di propulsore che utilizza elettrodi ad alto voltaggio per accelerare gli ioni con forze elettrostatiche.
- Funzionamento:
 - *Iniezione degli atomi e ionizzazione.*
 - *Spostamento degli ioni.*
 - *Accelerazione ed espulsione degli ioni.*
 - *Neutralizzatore.*
- Le ottiche ioniche sono costantemente bombardate dagli ioni del propellente e si erodono o staccano, portando a un danneggiamento nel tempo della navicella, per questo motivo viene usata l'alternativa meno corrosiva: gli atomi di Xenon.
- Il modello più famoso è **NSTAR** della NASA, ma importanti sviluppi sono stati portati avanti dall'ESA insieme alla UNA.

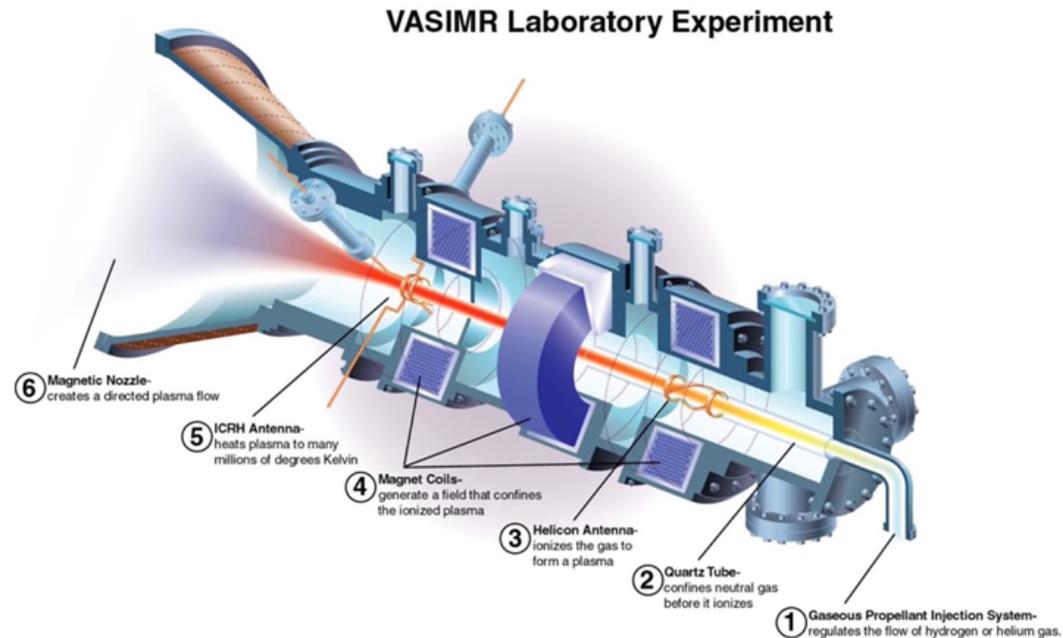


- Il **Propulsore a forza ponderomotrice** è una tipologia di propulsione per veicoli spaziali, conosciuto con l'acronimo "E-IMPACT".
- Ricorda il propulsore magnetoplasmadinamico ma si differenzia da esso sia per il metodo di ionizzazione che per l'uso della *Forza Ponderomotrice* ($F = -\frac{e^2}{4\pi m \omega^2} * \nabla(E^2)$) per accelerare il plasma.
- **FUNZIONAMENTO**
 - *Iniezione propellente*
 - *Ionizzazione*
 - *Produzione di plasma freddo*
 - *Accelerazione dovuta alla forza Ponderomotrice*
- **Vantaggi:** non serve un neutralizzatore e non ci sono limitazione per quanto riguarda la densità del plasma.



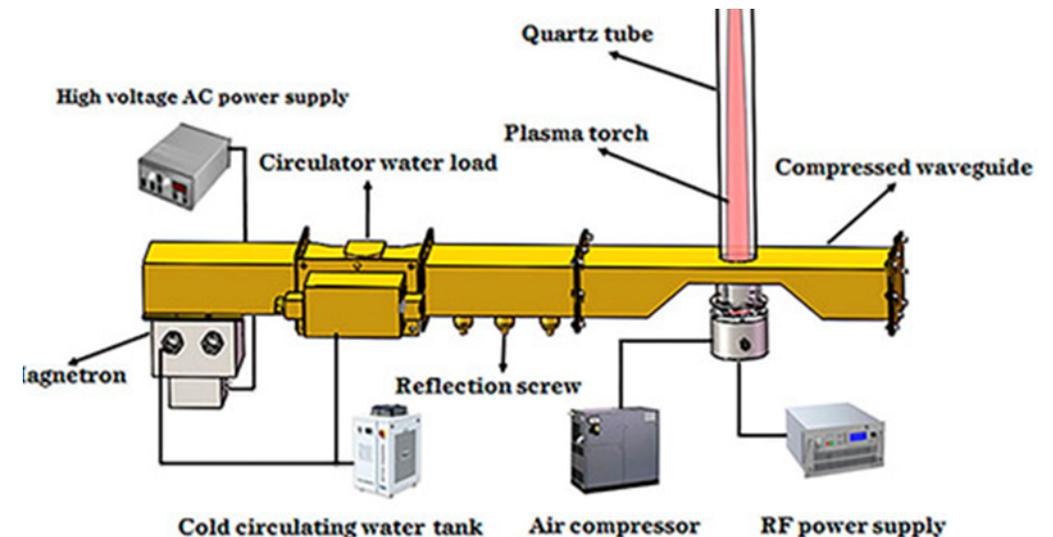
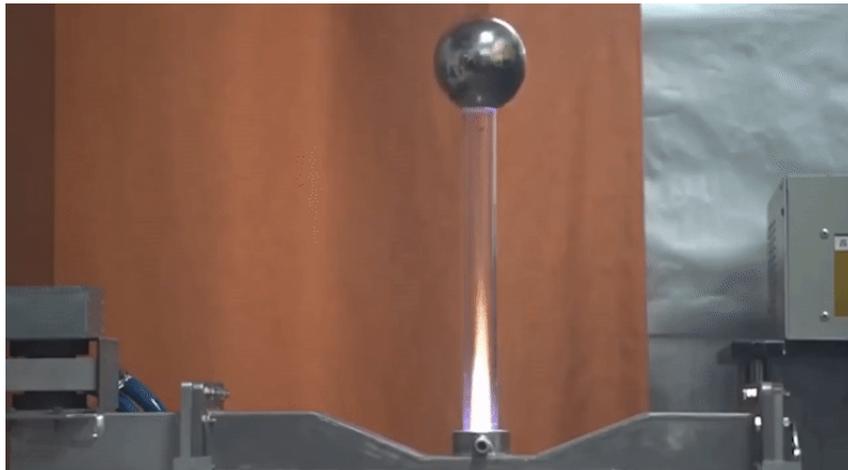
- Il dispositivo ha un campo magnetico approssimativamente costante nel tubo sorgente, ma il campo magnetico diverge e diminuisce rapidamente di ampiezza lontano dalla regione della sorgente e potrebbe essere pensato come una specie di ugello magnetico.
- Durante il funzionamento, esiste un confine netto tra il plasma ad alta densità e il plasma a bassa densità. Le proprietà del plasma cambiano rapidamente attraverso questo confine. Il potenziale elettrico è molto più alto all'interno della regione della sorgente che nello scarico. Una quantità sufficiente di elettroni fuoriesce dalla regione della sorgente per garantire che il plasma nello scarico sia complessivamente neutro.
- Il prototipo finale del propulsore è in fase di test presso la struttura di simulazione spaziale denominata "**Wombat XL**" situata presso l'Osservatorio del Monte Stromlo dell'Università Nazionale Australiana (ANU).
- L'HDLT presenta due vantaggi principali rispetto alla maggior parte degli altri modelli di propulsori ionici: in primo luogo, crea un campo elettrico in accelerazione senza inserire componenti soggette ad usura. In secondo luogo, non è necessario un neutralizzatore, poiché ci sono un numero uguale di elettroni e ioni positivi emessi.

- Attualmente la NASA è al lavoro su uno dei progetti più ambiziosi per quanto riguarda la propulsione al plasma, si tratta del **VASIMR** (VARIable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket).
- Scelto un gas neutro come propellente, esso viene ionizzato da una onda elicone, a questo punto entra in un campo magnetico che confina il plasma ionizzato. In questa fase si raggiungono temperature notevoli (5500 C°), tuttavia viene riscaldato ulteriormente grazie a una tecnica di risonanza IRCH fino a 10 milioni di C°. Infine grazie a una tecnologia simile a quella vista nel Helicon Double Layer Thruster, si viene a formare un ugello magnetico che indirizzerà il plasma. In questo modo si possono ottenere spinte molto diverse, rendendolo adattabile a diverse missioni.



- Grazie a questo processo, si può ottenere una spinta necessaria per muovere veicoli spaziali con equipaggio, obiettivo impossibile per le altre forme di propulsione. Tuttavia non si è ancora trovato un modo per generare abbastanza energia per produrre le onde elicone necessarie, l'opzione più gettonata è quella di utilizzare piccoli reattori nucleari.
- Il prossimo obiettivo della *NASA* è quello di sviluppare un modello per ottenere per **100 ore di fila una potenza di 100 kilowatt**, si tratterebbe di una potenza 50 volte superiore alla media attuale di qualsiasi propulsore al plasma. Con uno sviluppo futuro di tale tecnologia (si parla di **2000 volte la potenza appena descritta**) si potrebbe raggiungere Marte in soli 40 giorni con equipaggio umano a bordo.

- Recentemente uno studio dell'università di Wuhan ha proposto una nuova metodologia di propulsione al plasma, che utilizzerebbe solo aria e microonde, chiamato **JEPMAP**.
- Lo studio, verte infatti su un motore rivoluzionario il quale comprime l'aria ad altissima pressione, a questo punto si utilizza un generatore e un compressore di microonde, indirizzandole verso l'aria e ionizzandola. Infine viene innestata una scintilla e viene prodotto il così detto "Air Plasma".
- Tale processo, in teoria, dovrebbe essere in grado di generare una spinta equivalente a quella degli attuali motori aeronautici che utilizzano carburanti fossili.



- Esistono dunque molti metodi per sfruttare il plasma come mezzo per generare spinta, e nonostante la loro efficacia, ad oggi non possono ancora sostituire gli altri metodi di propulsione. Serviranno ancora anni e un impegno internazionale per poter iniziare veramente a usufruire di tale tecnologia in modo totalmente efficiente.
- Ringrazio l'Università per la formazione fornita in questi anni e per le conoscenze acquisite che spero mi permetteranno di mettermi al servizio della nostra specie per una futura esplorazione spaziale. Un ringraziamento va anche alla città di Padova, che ha saputo creare un ambiente favorevole allo studio e alla socialità.
- Ringrazio la mia famiglia, che mi ha sempre ispirato e supportato, incitandomi a seguire i miei sogni indipendentemente dall'ambiente che mi circondava e che mi hanno fin troppe volte sopportato.
- Infine ringrazio i miei colleghi di questa e di altre facoltà, che mi hanno fatto innamorare di questa città e aiutato durante le giornate difficili.

- “Atmospheric and Space Sciences: Ionospheres and Plasma Environments”- Erdal Yiğit
- “Plasma Chemistry”- Alexander Fridman
- “Electrodeless plasma thrusters for spacecraft: a review” - Applied and Plasma Physics, School of Physics, University of Sydney, NSW 2006, Australia
- “Brief review on pulse laser propulsion”- Key Lab of In-fiber Integrated Optics, Ministry Education of China, Harbin Engineering University, Harbin 150080, China
- <https://pwg.gsfc.nasa.gov/Education/whplasma.html>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics))
- Appunti del Corso “Impianti e sistemi aerospaziali”, docente: Francesconi Alessandro
- <https://marinecue.it/la-propulsione-magnetoidrodinamica/18956/>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Propulsore_magnetoplasmadinamico
- https://hmn.wiki/it/Ion_thruster
- https://it.frwiki.wiki/wiki/Propulseur_%C3%A0_force_pond%C3%A9romotrice
- <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/641/1/012024/pdf>
- <https://www.adastrarocket.com/our-engine/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=HlGKC8EdChI>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PawXzagy8-k>
- <https://www.youtube.com/watch?v=zreTrshsg-c>