

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale
<<Propulsione Ionica>>

Tutor universitario: Prof. Roberta Bertani

Laureando: *Simone Shwekh*

Matricola: 1221099

Padova, 22/11/2022

I propulsori ionici sono stati progettati per un'ampia varietà di missioni spaziali, dal mantenimento dei satelliti per le comunicazioni nella posizione corretta alla propulsione di veicoli spaziali in tutto il sistema solare.

Il primo propulsore ionico funzionante fu costruito nel Glenn Research Center della NASA nel 1959 ed utilizzava mercurio come propellente.



Figura 1: vista aerea del Glenn Research Center della NASA di Cleveland nel 1943



Figura 2: vista aerea del Glenn Research Center della NASA di Cleveland attuale

La relazione si concentra sulla spiegazione del funzionamento e sulle diverse tipologie esistenti di propulsori ionici, andando poi ad elencare delle missioni dove tale propulsione è stata adottata. Questa tipologia di propulsori è un ottimo compromesso quando si tratta di missioni di lunga durata ma con una poca spinta richiesta ed i continui progressi della NASA adatteranno i propulsori ionici per un'ampia gamma di missioni per fornire in modo efficiente e affidabile la propulsione per le applicazioni della NASA, commerciali e di difesa.

Gli argomenti trattati sono:

- Funzionamento generale dei propulsori ionici;
- Tipologie di propulsori;
- Applicazioni e missioni;

Un propulsore ionico ionizza il propellente aggiungendo o rimuovendo elettroni per produrre ioni.

La maggior parte dei propulsori ionizza il propellente mediante bombardamento di elettroni: un elettrone ad alta energia (carica negativa) si scontra con un atomo di propellente (carica neutra), rilasciando elettroni dall'atomo propellente e risultando in uno ione caricato positivamente. Il gas prodotto è costituito da ioni positivi ed elettroni negativi in proporzioni tali da non produrre una carica elettrica complessiva. Questo è chiamato plasma.



Figura 3: Propulsore ionico Evolutionary Xenon Thruster (NEXT) della NASA in funzione.

Nella maggior parte dei propulsori ionici, gli elettroni vengono generati con il catodo cavo di scarica mediante un processo chiamato **emissione termoionica**.

Gli elettroni prodotti dal catodo di scarica sono attratti dalle pareti della camera di scarica, che vengono caricate ad un alto potenziale positivo dalla tensione applicata dall'alimentatore di scarica del propulsore.

Il propellente neutro viene poi iniettato nella camera di scarica, dove gli elettroni bombardano il propellente per produrre ioni carichi positivamente e rilasciare più elettroni.

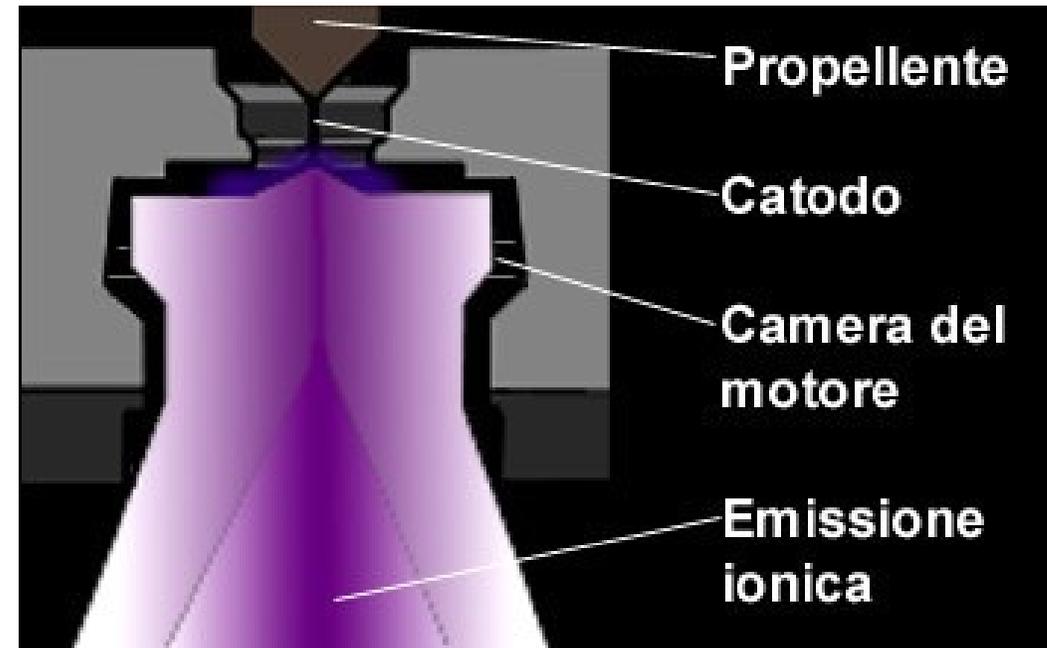


Figura 4: Principio di funzionamento propulsore

Gli ioni caricati positivamente migrano verso griglie che contengono migliaia di fori (*aperture*). La prima griglia è l'elettrodo caricato positivamente. Una tensione positiva molto elevata viene applicata alla griglia dello schermo, ma è configurata per forzare la scarica del plasma a risiedere ad un'alta tensione. Quando gli ioni passano tra le griglie, vengono accelerati verso un elettrodo caricato negativamente (la *griglia dell'acceleratore*) a velocità molto elevate (fino a 40 km/s).

Gli ioni caricati positivamente vengono quindi accelerati fuori dal propulsore come un raggio ionico, che produce una spinta.

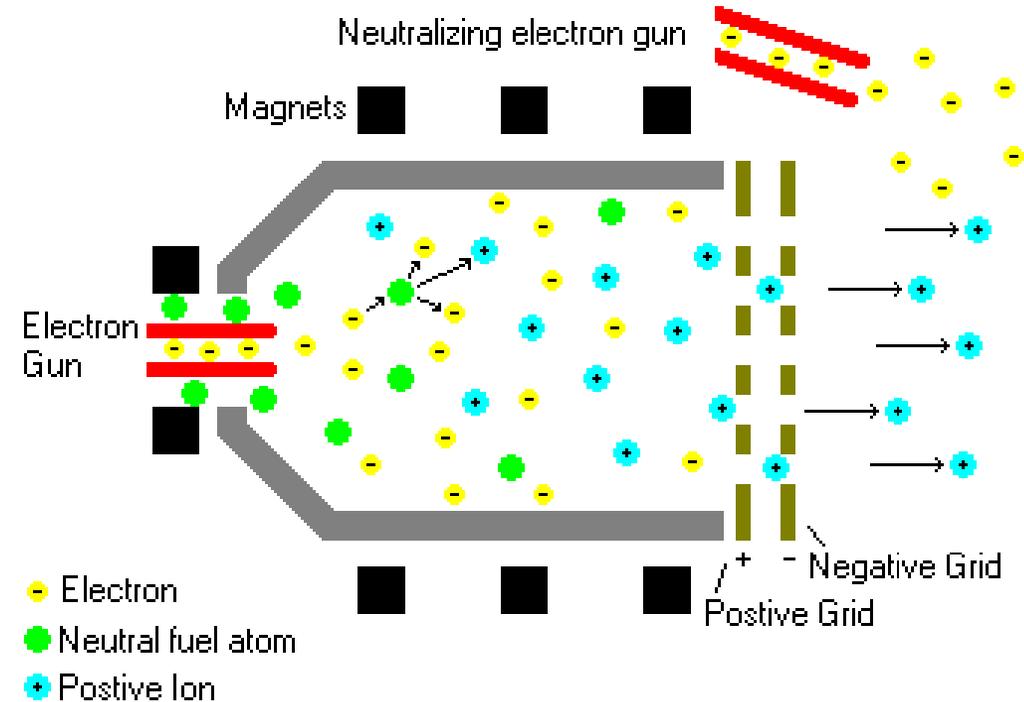


Figura 5: Diagramma di funzionamento di un propulsore ionico a griglie elettrostatiche

I propulsori ad effetto Hall accelerano gli ioni attraverso l'uso di un potenziale elettrico tra un anodo circolare ed il plasma (catodo).

La massa del propellente viene introdotta vicino all'anodo, dove viene ionizzata. In seguito gli ioni vengono attratti dal catodo e accelerati verso e attraverso di esso. Gli ioni più pesanti, non subiscono l'effetto del campo magnetico, mentre gli elettroni vengono intrappolati ed attratti verso l'anodo. Gli elettroni gradualmente variano nella direzione opposta per completare il circuito, ma sono rallentati dal campo magnetico e, quando raggiungono l'anodo, colpiscono il propellente ionizzandolo.

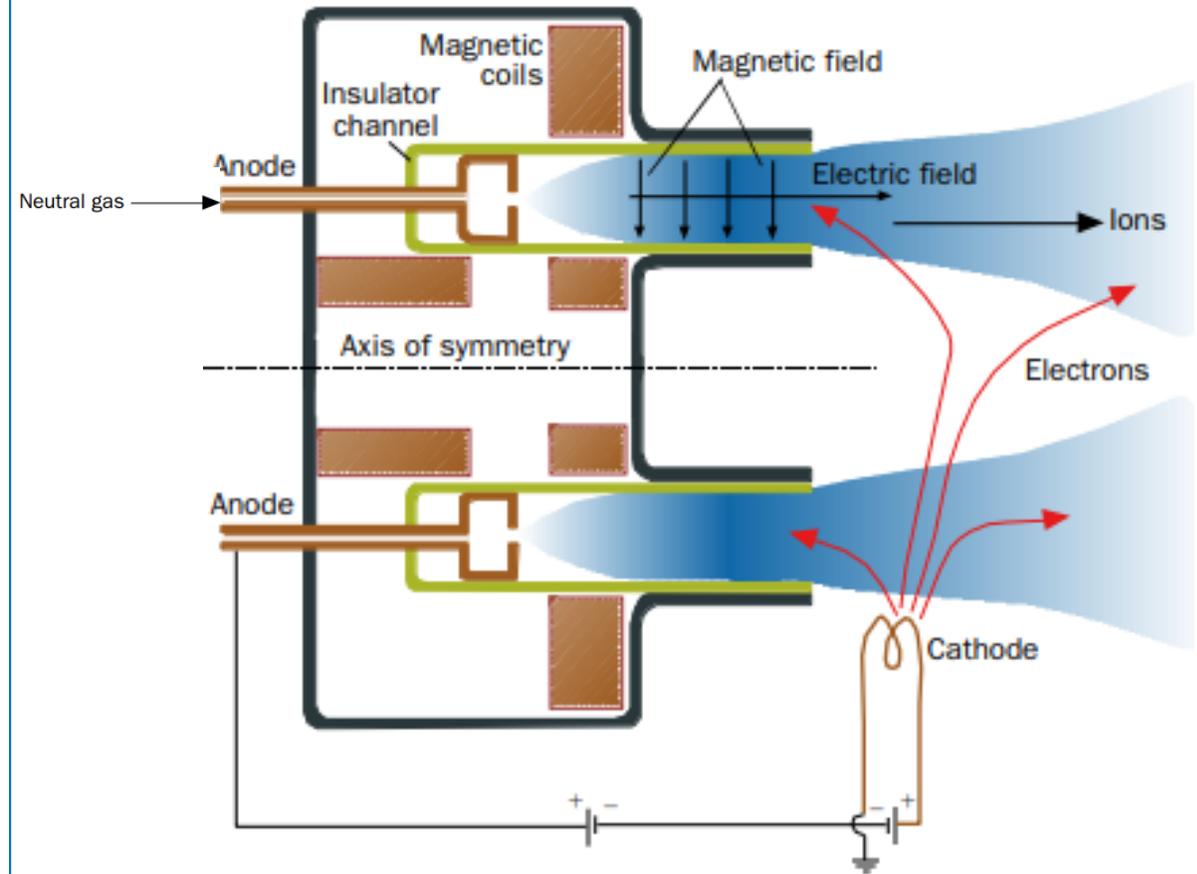


Figura 6: Schema di un propulsore ionico ad effetto hall

Un propulsore FEED si basa sull'emissione di ioni attraverso un forte campo elettrico. Gli ioni sono estratti direttamente dal metallo liquido senza passare attraverso la fase gassosa per ottenere un'elevata differenza di potenziale. Una volta che il metallo liquido raggiunge l'interno della feritoia nell'emettitore, un campo elettrico applicato tra esso e l'anello acceleratore provoca un'instabilità del metallo liquido, ionizzandolo. Questo crea ioni positivi che possono poi essere accelerati nel campo elettrico creato tra l'emettitore e l'anello.

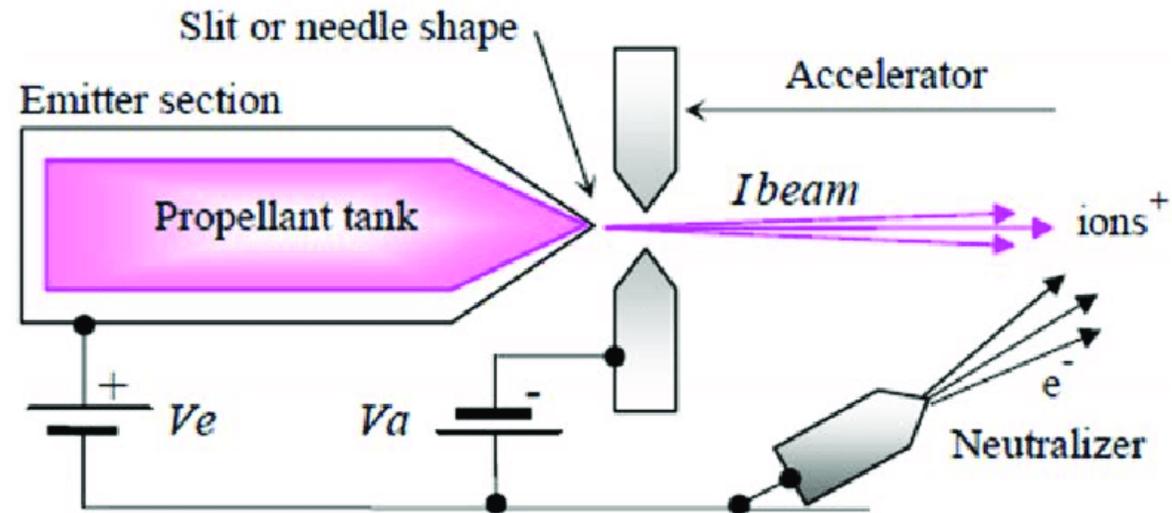


Figura 7: Schema di un FEED

Il propellente più comune utilizzato nella propulsione ionica è lo xeno, che è facilmente ionizzato e ha un'elevata massa atomica, generando così un livello desiderabile di spinta quando gli ioni vengono accelerati. Inoltre è inerte e ha un'elevata densità di stoccaggio; pertanto, è adatto per essere riposto su veicoli spaziali.

	INDIUM	IODINE	XENON	KRYPTON
	SOLID		SUPERCRITICAL FLUID	
DENSITY (IN FLIGHT TANK)	7.3 G/CM ³	4.9 G/CM ³	1.6 G/CM ³	0.6 G/CM ³
PRESSURE	0 BAR	< 1 BAR	> 100 BAR	> 100 BAR
TOXICITY*	NONE	0.1 PPM PER 8H	NONE	NONE
LAUNCH WAIVER REQUIREMENTS	NONE	VARYING	PRESSURE VESSEL	PRESURE VESSEL
PRICE OF PROPELLANT	\$\$	\$\$	\$\$\$\$	\$\$
AVAILABILITY	~1000 TONS/YEAR	UNLIMITED	~10 TONS/YEAR	~100 TONS/YEAR

I migliori impieghi dei propulsori sono nella possibilità di utilizzare la loro lunga durata quando non serve una spinta eccessiva. . Alcune tra le missioni dove è stata usata questa tipologia di propulsori sono:

- **SERT (Space Electric Rocket Test);**
- **DART;**
- **Artemis;**
- **Deep Space 1;**
- **Hayabusa;**
- **Dawn;**
- **Smart 1;**
- **Lisa Pathfinder;**
- **Bepicolombo.**

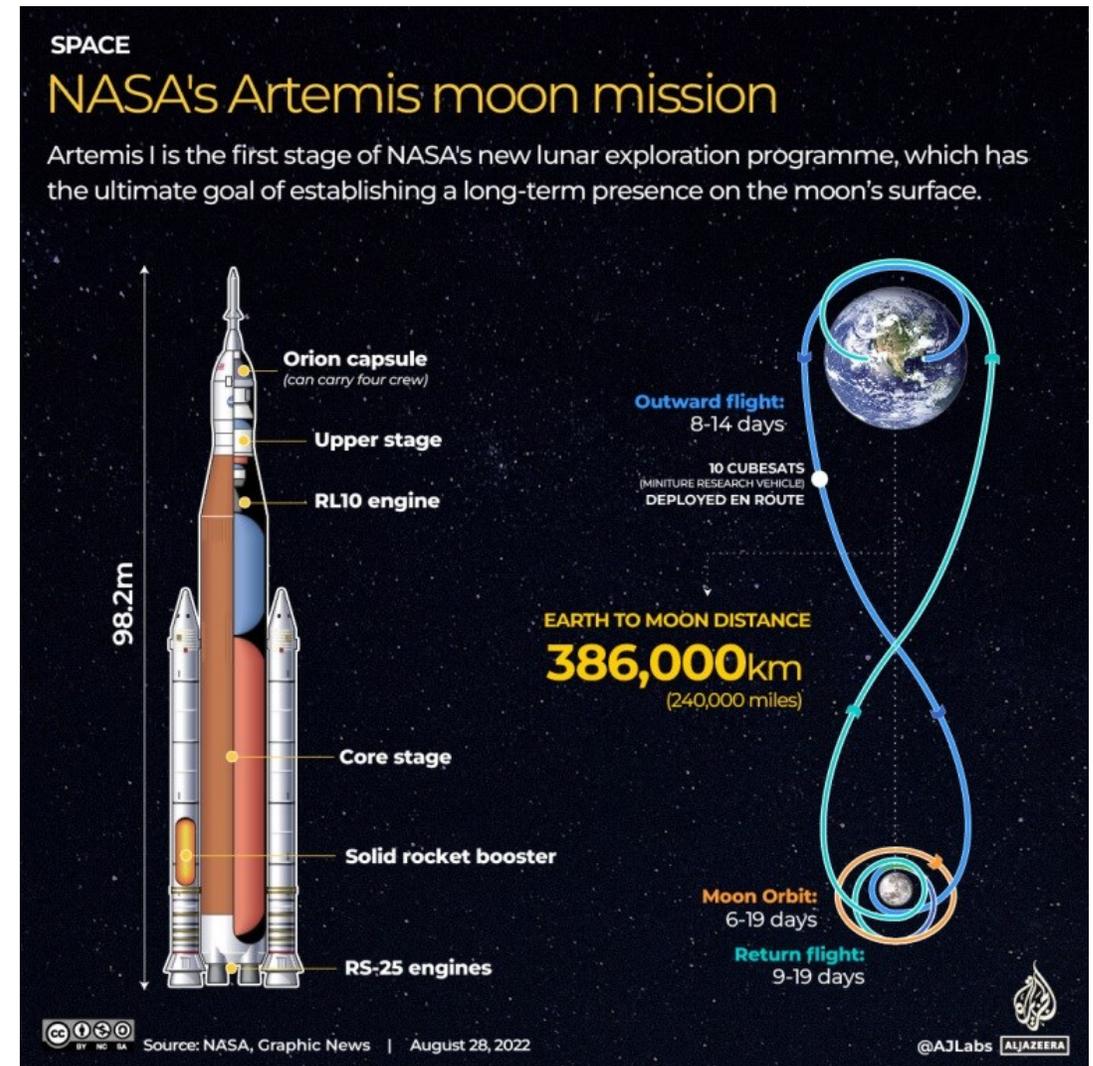


Figura 8: Missione Artemis

Come si può constatare, i propulsori ionici sono adatti per missioni dove è richiesta una spinta continua per una lunga durata di tempo, permettendo al razzo di raggiungere velocità più elevate di quelle ottenibili con razzi chimici tradizionali. La spinta non è elevata, quindi si sfrutta il pieno potenziale di tale propulsore per trasferimenti in orbita o per aggiustamenti di allineamento.

Gli obiettivi sono ridurre i costi del sistema, ridurre la complessità del sistema e migliorare le prestazioni.

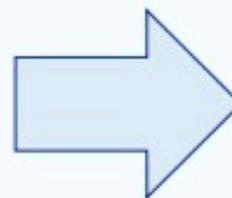
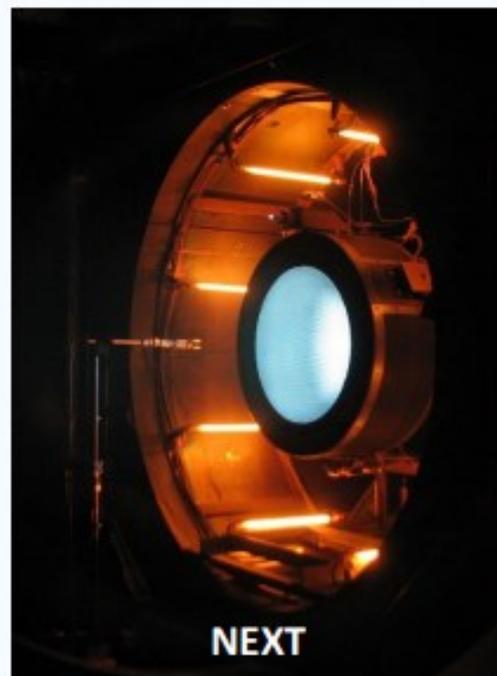


Figura 9: Confronto tra motore NEXT e Anular Ion Engine

- Figura 1, <https://www1.grc.nasa.gov/glenn-history/nasa-glenns-arrival-in-cleveland/>
- Figura 2, https://www.cleveland.com/science/2012/10/clevelands_glenn_research_cent_1.html
- Figura 3, <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs21grc.html>
- Figura 4, https://www.seleya.it/04_ing/real_tech/prop_ionica.html
- Figura 5, https://it.wikipedia.org/wiki/Propulsore_ionico_elettrostatico#/media/File:Ion_engine.gif
- Figura 6, <https://web.archive.org/web/20070316160623/http://www.aip.org/tip/INPHFA/vol-6/iss-5/p16.pdf>
- Figura 7, https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-FEEP-thruster-Image-source-Ceruti-et-al-2007_fig12_309292211
- Figura 8, <https://234radio.com/what-is-nasas-artemis-moon-mission-and-how-can-you-watch-it/>
- Figura 9, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170001722>

- Ion Propulsion, <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs21grc.html>
- Propulsore Ionico, https://it.wikipedia.org/wiki/Propulsore_ionico
- Hall Effect Thruster, <https://web.archive.org/web/20070316160623/http://www.aip.org/tip/INPHFA/vol-6/iss-5/p16.pdf>
- FEEP Thruster, <https://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1351683/FULLTEXT02.pdf>
- FEEP Thruster, <https://www.enpulsion.com/feep/>