

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria
Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale

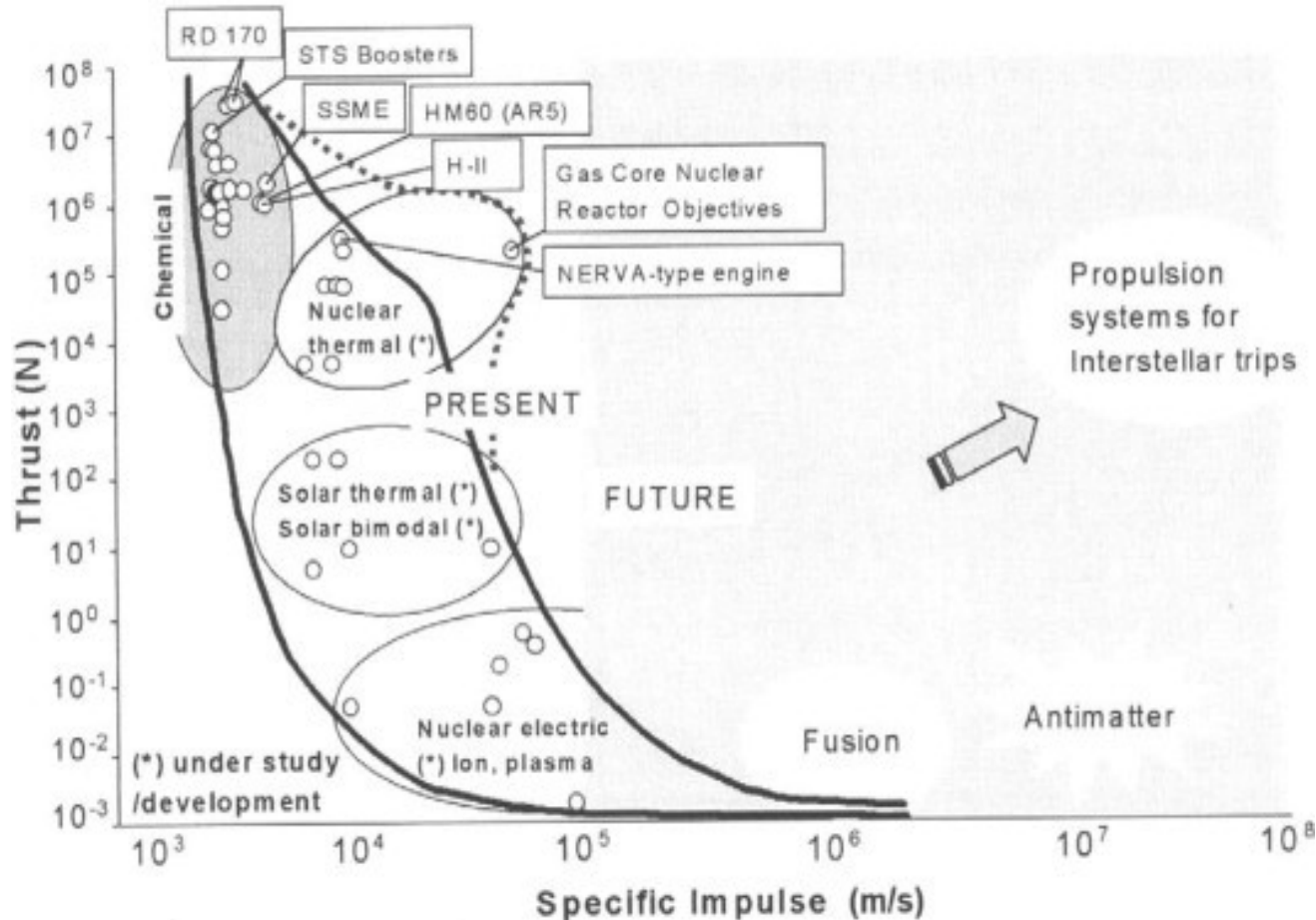
***«Le possibilità della propulsione nucleare
per il futuro dell'industria aerospaziale»***

Tutor universitario: Prof. Roberta Bertani

Laureando: *Simone Slaviero*

Padova, 23/11/2023

I motori nucleari costituiscono oggi un campo di ricerca sempre più interessante, con rilevante importanza nel settore aerospaziale. Le possibilità di questa particolare propulsione derivano dalla densità energetica contenuta nel combustibile.



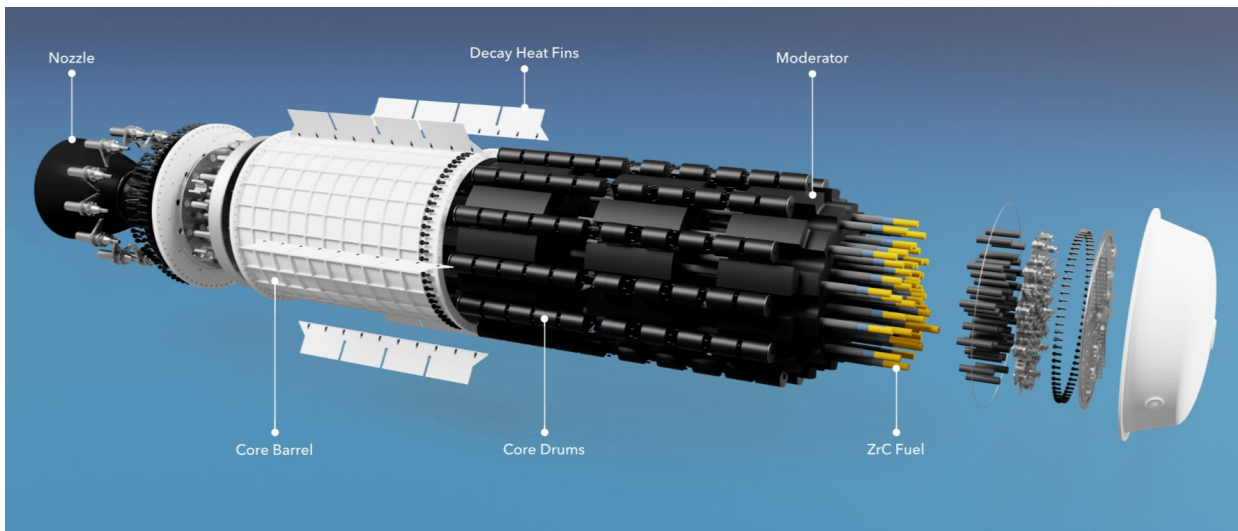
Questa caratteristica risulta di vitale importanza quando si deve progettare una missione spaziale, dovendo minimizzare il peso al decollo del razzo. Rispetto a propellenti chimici tradizionali l'impulso specifico generato da questi combustibili risulta quasi doppio.

Questo alto ISP permetterebbe quindi di portare a termine missioni nella metà (o meno) del tempo richiesto normalmente.

Svariati tentativi sono stati fatti per sfruttare l'energia nucleare come mezzo propulsivo in diversi campi quali: aeronautico, marittimo, terrestre e spaziale.

L'utilizzo di una propulsione nucleare è l'unica tecnologia pratica che permette lo sviluppo di missioni deep-space verso l'esterno del sistema solare.

Nel campo aeronautico sono stati provati negli anni diversi metodi per sfruttare l'immenso potenziale dell'energia nucleare come mezzo propulsivo.

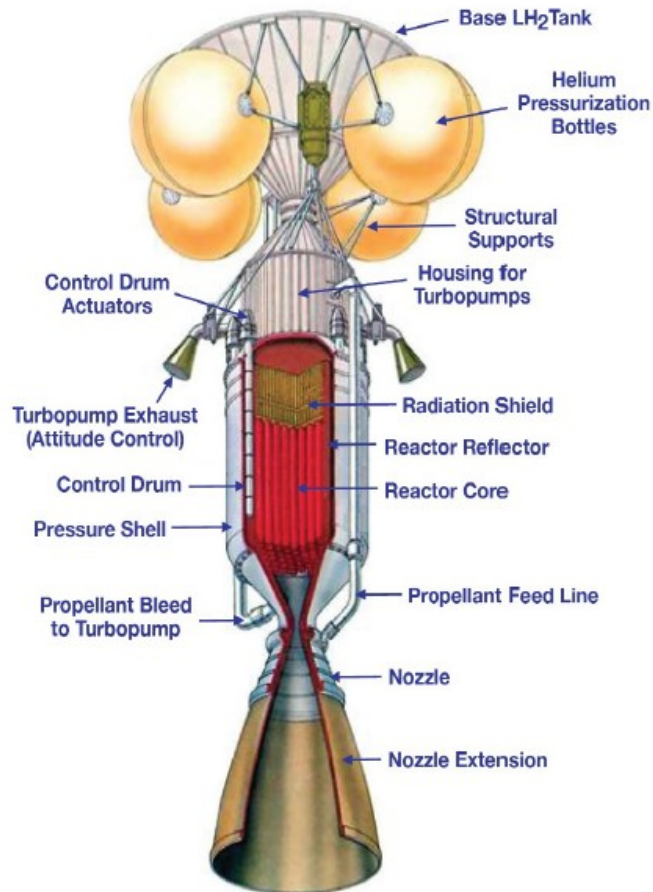


Vari progetti si sono susseguiti durante gli anni portando innovazioni e nuove tipologie di motori. Distinguendo i due ambiti ovvero aeronautico e spaziale si possono elencare i più importanti metodi di propulsione che si sono ricercati durante gli anni:

- Tipologie di motori per ambito spaziale:
 - NTP Nuclear Thermal Propulsion
 - NEP Nuclear Electric Propulsion
 - BNTEP “Bimodal” Nuclear Thermal Electric Propulsion
- Tipologie di motori per ambito aeronautico:
 - Turbogetto alimentato da reattore nucleare
 - Statoreattore(ramjet) nucleare

I motori a propulsione termica nucleare sono attualmente una delle alternative più probabili per sostituire i propulsori chimici nei viaggi spaziali.

Un razzo termico nucleare è concettualmente simile a un razzo a propellente chimico, dove la camera di combustione è rimpiazzata da un reattore nucleare per riscaldare il propellente.

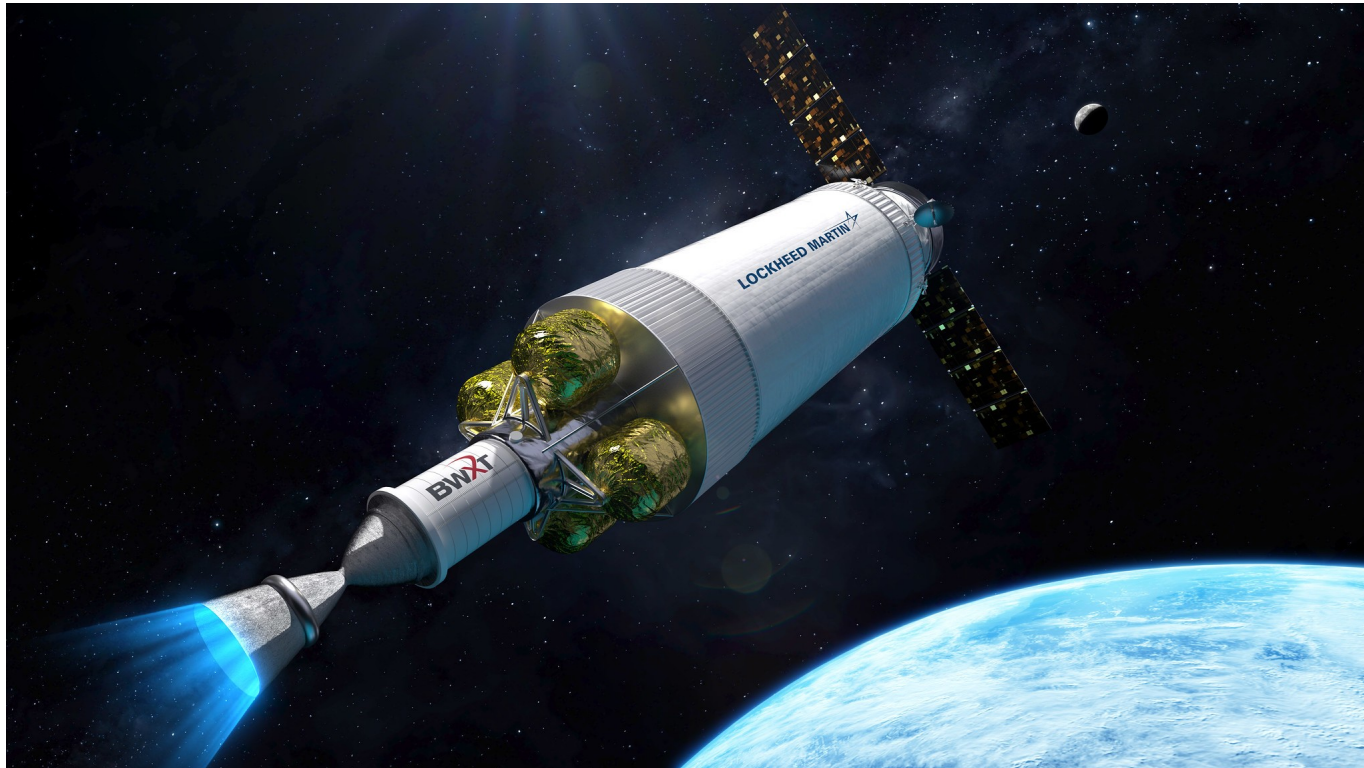


Nel sistema NTP il reattore produce calore tramite la fissione del combustibile nucleare. I reattori nucleari producono anche elevati livelli di radiazioni che richiedono l'impiego di scudi per ridurre l'esposizione a persone e cose nelle vicinanze del reattore.

Per sistemi a propulsione termica nucleare l'idrogeno liquido è portato al reattore combinando diverse pompe, tubi e valvole. Infine LH₂ viene riscaldato dal reattore e poi espulso dall'ugello per generare la spinta, in contrasto con la generazione di calore che avviene in un classico motore a propellente chimico.

La DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ha avviato lo sviluppo del programma DRACO (Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations).

L'obiettivo principale è quello di testare un sistema a propulsione nucleare termica in orbita terrestre bassa entro il 2027.

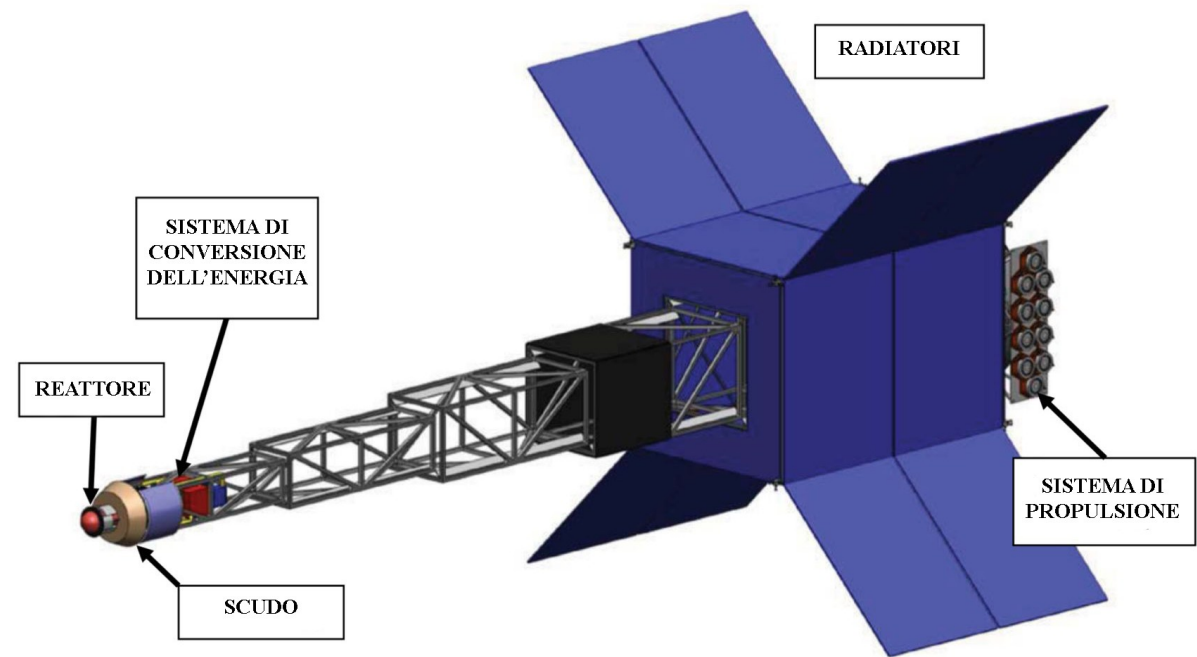


DRACO sarà il primo reattore nucleare spedito in orbita da SNAP 10A del 1965:

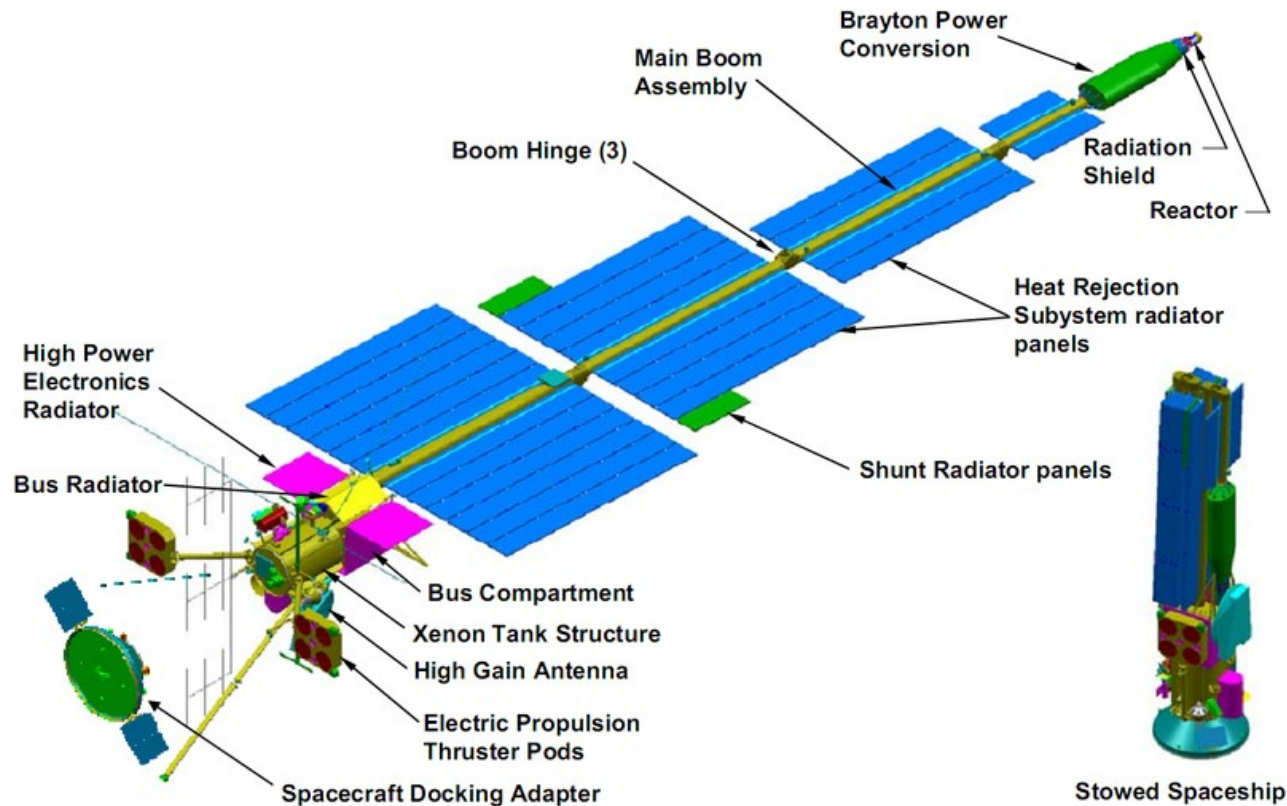
- Verrà testata la sicurezza al momento del lancio per eventuali possibilità di incidenti e contaminazioni.
- Solo una volta raggiunta l'orbita designata il reattore verrà acceso e saranno testate le sue Capacità.
- è prevista la permanenza in orbita del satellite per centinaia di anni, così facendo si potrà:
 - Assicurarsi che il materiale fissile decada a livelli radioattivi dell'uranio 235
 - Precludere la possibilità di una hot reentry

I sistemi a propulsione nucleare elettrica sfruttano il calore fornito dalla fissione nel reattore per generare energia elettrica, similmente ai reattori operativi sulla terra. Questa energia elettrica è poi usata per produrre la spinta tramite l'accelerazione di un propellente ionizzato. Un sistema NEP può essere diviso in sottosistemi:

- **Reattore:** Il reattore nucleare serve da fonte di calore per la conversione di energia.
- **Conversione di potenza:** Il sistema di conversione di potenza trasforma il calore fornito dal reattore in energia elettrica.
- **Dispersione di calore:** Nei sistemi NEP devono essere presenti radiatori per la diffusione del calore rimasto.
- **Gestione e distribuzione della potenza:** L'energia elettrica viene prodotta vicino al reattore, la potenza deve essere controllata e distribuita.



Il progetto Prometheus fu fondato dalla NASA nel 2003 e prevedeva lo sviluppo di un sistema alimentato da energia nucleare per missioni di lunga durata nello spazio. JIMO (Jupiter Icy Moons Orbiter) era una missione proposta dalla NASA per l'esplorazione delle lune ghiacciate di Giove.

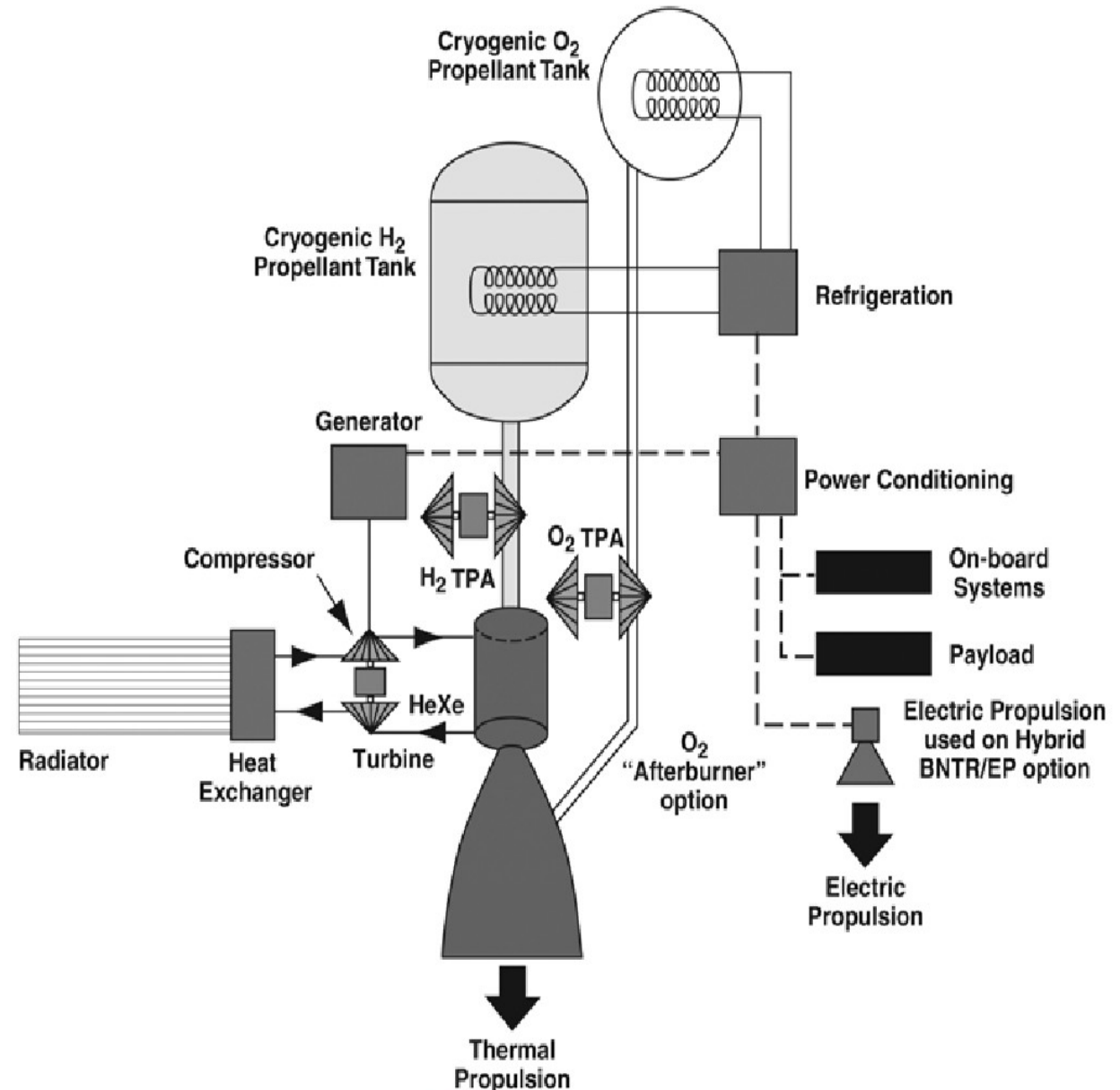


- La propulsione era fornita da un sistema con propulsore ionico.
- L'energia termica doveva essere generata da un piccolo reattore a fissione nucleare
- Il calore fornito dal reattore doveva essere convertito in energia elettrica tramite un ciclo Brayton.
- La grande possibilità energetica garantiva l'utilizzo di un radar in grado di penetrare lo strato di ghiaccio superficiale delle lune di Giove.

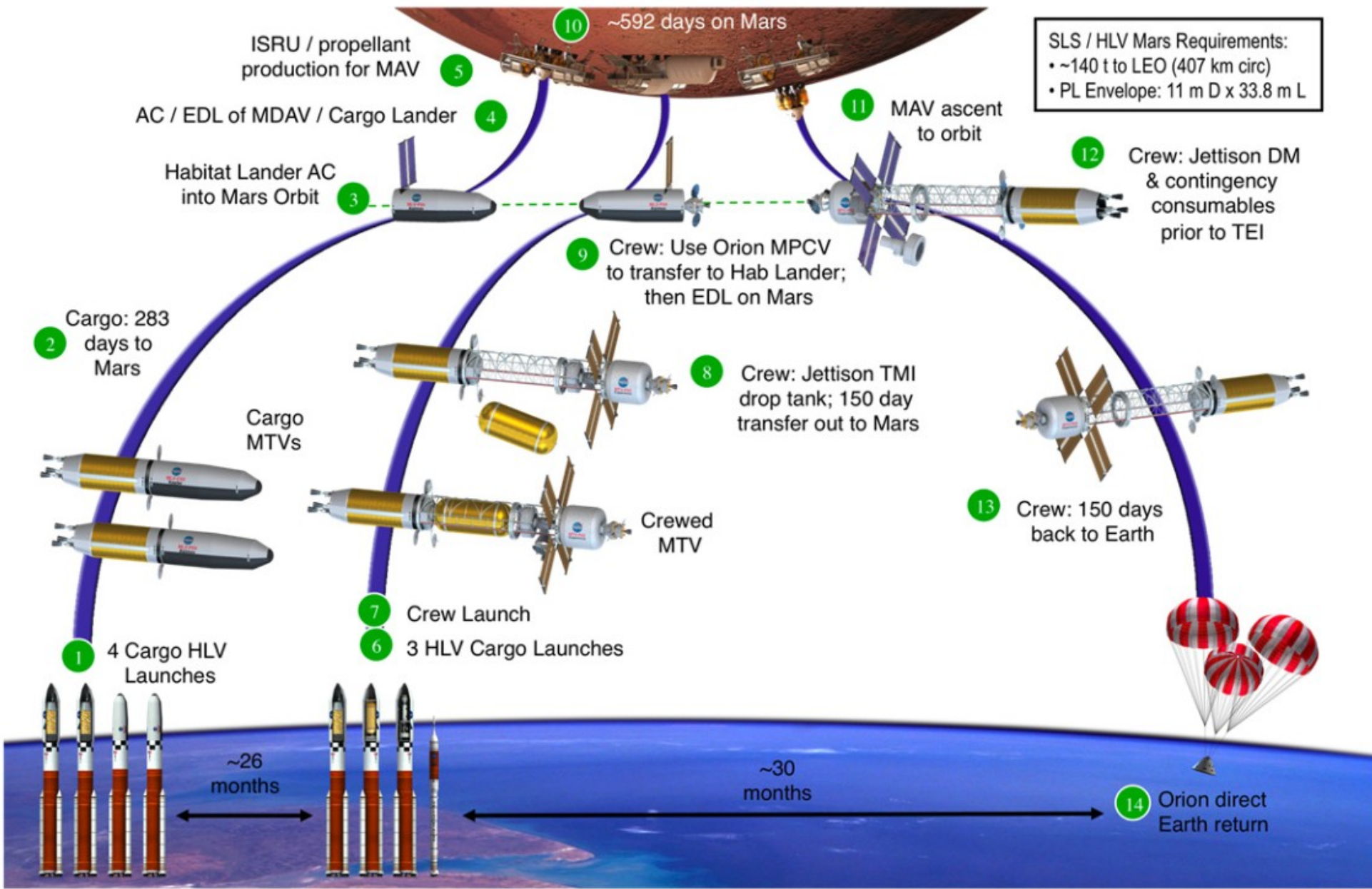
La propulsione nucleare bimodale sfrutta entrambe le tipologie di propulsione NEP e NTP per creare un motore ibrido in grado di produrre spinta con un ugello e camera di combustione classici e anche tramite propulsori ionici alimentati da energia elettrica.

Utilizzando entrambe le propulsioni si otterrebbero Isp dai 1400 ai 2000 secondi, quasi 5 volte superiori agli impulsi specifici dei moderni razzi a combustibile chimico.

L'elevata potenza elettrica permette anche molti altri comfort per un eventuale equipaggio o la possibilità di utilizzare strumentazione assai più potente.



MISSIONE PER MARTE CON BTNEP

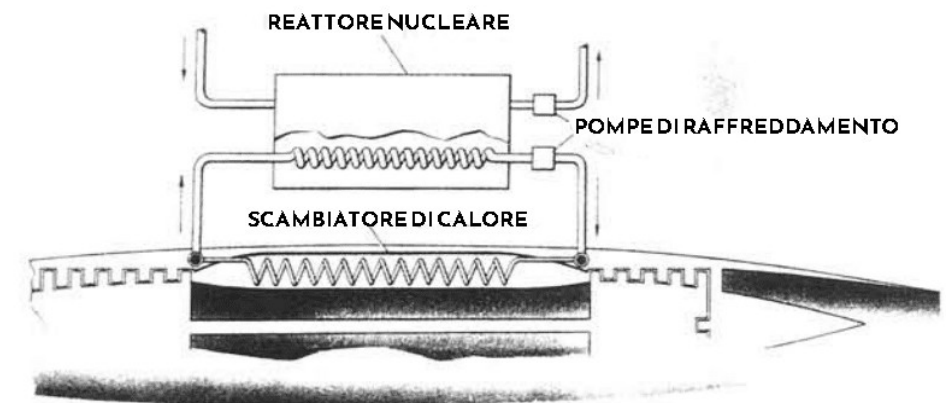
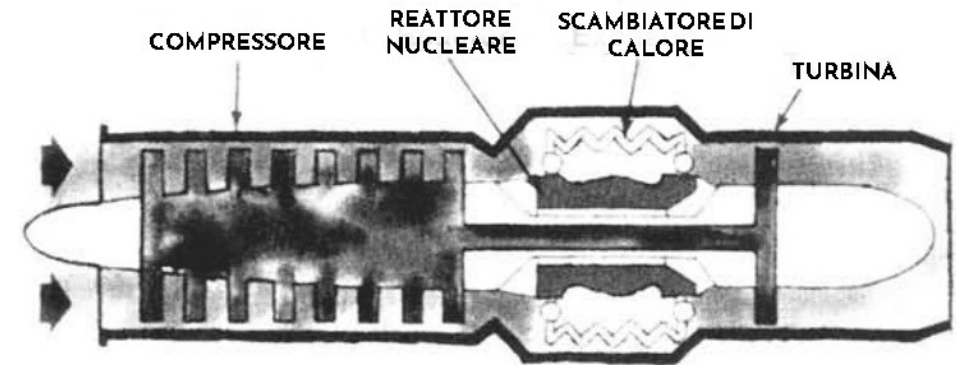


Durante gli anni 50 del secolo scorso sia Stati Uniti che Unione Sovietica avviarono programmi per la costruzione di velivoli, soprattutto bombardieri, alimentati ad energia nucleare.

Si distinguono due principali configurazioni:

A ciclo diretto: Il motore con questa configurazione assomiglia ad un motore classico, senza però camera di combustione.

A ciclo indiretto: In questa configurazione l'aria in uscita dal compressore passa attraverso uno scambiatore di calore dove avviene lo scambio termico.

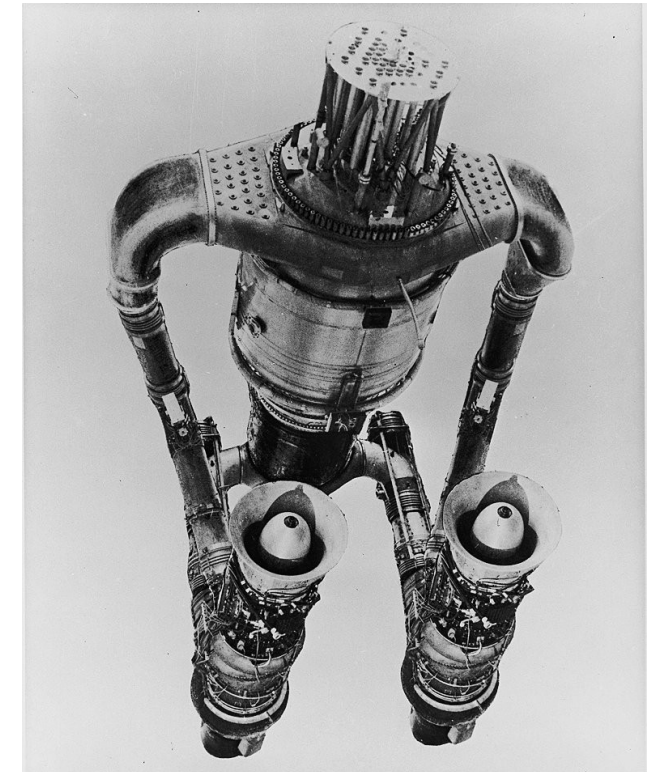


Programma ANP e progetto MX-1589

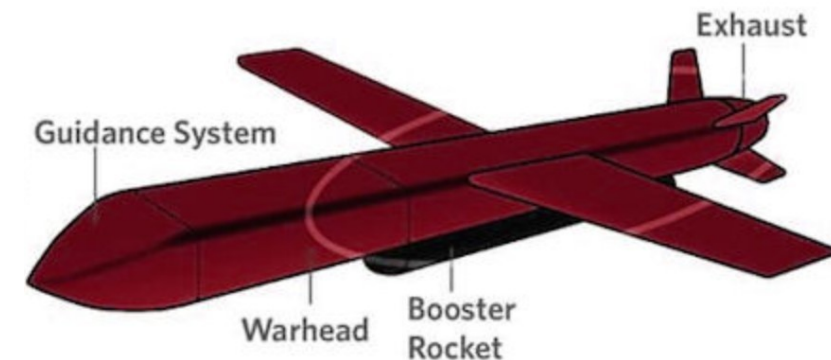
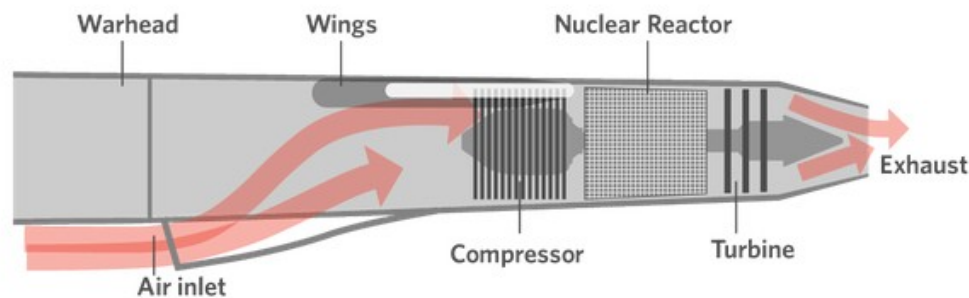
Il 5 settembre 1951 la Convair ricevette un contratto per la modifica di un bombardiere Convair B-36. Tale modifica prevedeva di far volare l'aereo con un reattore nucleare a bordo. Il velivolo chiamato NB-36H doveva volare con a bordo un reattore nucleare attivo.

Razzo nucleare russo Burevestnik

Il razzo da crociera russo Burevestnik è un progetto in sviluppo in Russia per la creazione di un razzo dalla autonomia pressochè infinita capace di colpire qualsiasi obiettivo terrestre.



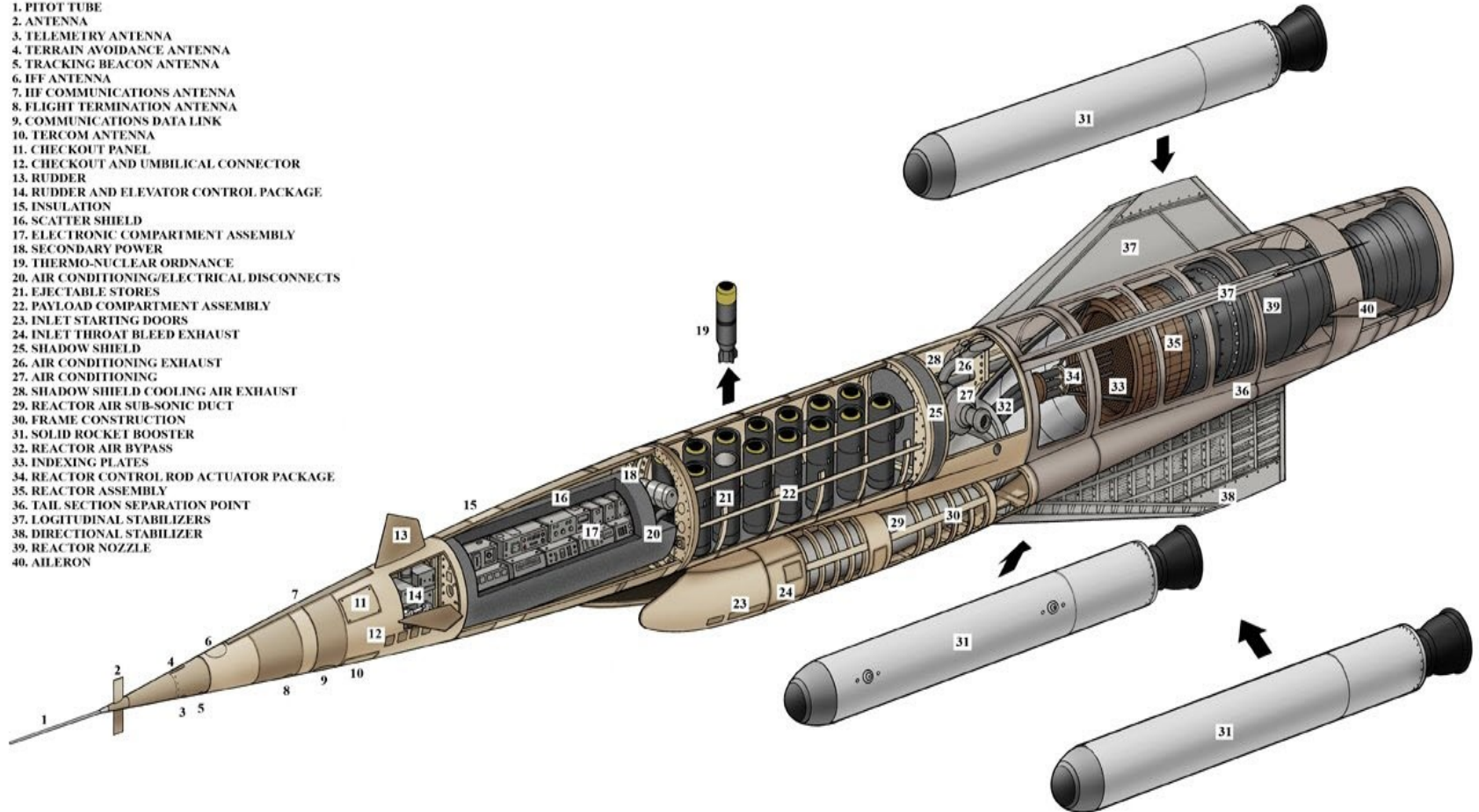
www.dii.unipd.it



Negli statoreattori, o **ramjets**, compressore e turbina sono rimossi. L'aumento di pressione dell'aria si ottiene grazie ad una particolare geometria della bocca del motore. Questa apertura rallenta l'aria e ne aumenta la pressione. L'aria compressa arriva nella camera di combustione dove aumenta la sua entalpia e viene poi fatta uscire attraverso un ugello anch'esso appositamente progettato.

LING-TEMCO-VOUGHT SLAM (PLUTO)

1. PITOT TUBE
2. ANTENNA
3. TELEMETRY ANTENNA
4. TERRAIN AVOIDANCE ANTENNA
5. TRACKING BEACON ANTENNA
6. IFF ANTENNA
7. IFF COMMUNICATIONS ANTENNA
8. FLIGHT TERMINATION ANTENNA
9. COMMUNICATIONS DATA LINK
10. TERCOM ANTENNA
11. CHECKOUT PANEL
12. CHECKOUT AND UMBILICAL CONNECTOR
13. RUDDER
14. RUDDER AND ELEVATOR CONTROL PACKAGE
15. INSULATION
16. SCATTER SHIELD
17. ELECTRONIC COMPARTMENT ASSEMBLY
18. SECONDARY POWER
19. THERMO-NUCLEAR ORDNANCE
20. AIR CONDITIONING/ELECTRICAL DISCONNECTS
21. EJECTABLE STORES
22. PAYLOAD COMPARTMENT ASSEMBLY
23. INLET STARTING DOORS
24. INLET THROAT BLEED EXHAUST
25. SHADOW SHIELD
26. AIR CONDITIONING EXHAUST
27. AIR CONDITIONING
28. SHADOW SHIELD COOLING AIR EXHAUST
29. REACTOR AIR SUB-SONIC DUCT
30. FRAME CONSTRUCTION
31. SOLID ROCKET BOOSTER
32. REACTOR AIR BYPASS
33. INDEXING PLATES
34. REACTOR CONTROL ROD ACTUATOR PACKAGE
35. REACTOR ASSEMBLY
36. TAIL SECTION SEPARATION POINT
37. LOGITUDINAL STABILIZERS
38. DIRECTIONAL STABILIZER
39. REACTOR NOZZLE
40. AILERON



Le possibilità derivanti dall'utilizzo della propulsione nucleare bimodale permetterebbero l'esplorazione spaziale umana e la presenza costante dell'uomo nello spazio.

Il rinato interesse in questo tipo di propulsione, da varie agenzie nazionali e internazionali, conferma una via di progresso dell'industria aerospaziale nei prossimi anni.

Anche nel campo aeronautico l'utilizzo di tale propulsione porterebbe a nuove innovazioni quali droni senza pilota con autonomia quasi infinita, ma anche aerei da trasporto merci o passeggeri con produzione di CO₂ nulla, riducendo così le emissioni di gas serra.

È una tecnologia dalle elevate potenzialità di innovazione e integrazione con sistemi già esistenti, lo sviluppo di nuovi combustibili e nuove forme di energia nucleare (fusione) permettono di avere ampi margini per la produzione dei più svariati metodi di propulsione.

S.K. Borowski, “Bimodal” Nuclear Thermal Rocket (BNTR) Propulsion for Future Human Mars Exploration Missions, NASA Archives (2003)

S.K. Borowski, D.R. McCurdy, T.W. Packard, Nuclear Thermal Propulsion (NTP): A Proven Growth Technology for Human NEO / Mars Exploration Missions, NASA Archives (2012)

Justin Clark, Analysis of Crewed Missions Enabled by a Bimodal Nuclear Thermal Electric Propulsion System, Ohio State University(2019)

Lukas Trakimavičius, The Future Role of Nuclear Propulsion in the Military, NATO Energy Security Centre of Excellence

Micheal P. Doherty, Robert S. Holcomb, Summary and Recommendations on Nuclear Electric Propulsion Technology for the Space Exploration Initiative, NASA Archives (1993)

Todd C. Dawson, Revitalization of Nuclear Powered Flight, USAF Air University Alabama (2016)