

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale
***Applicazioni Spaziali
Dell'energia Nucleare***

Tutor universitario:

Prof. Pierfrancesco Brunello

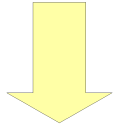
Laureanda:

Giulia Pierobon

Anno accademico 2021-2022

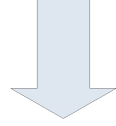
Stato dell'arte:

Propulsori a gas freddi



- Semplici;
- Limitati spinta e controllo

Propulsori chimici



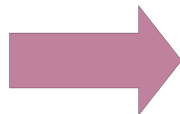
- elevati valori di spinta;
- scarsa autonomia;

Propulsori elettrici



- bassa spinta;
- elevati impulsi specifici;

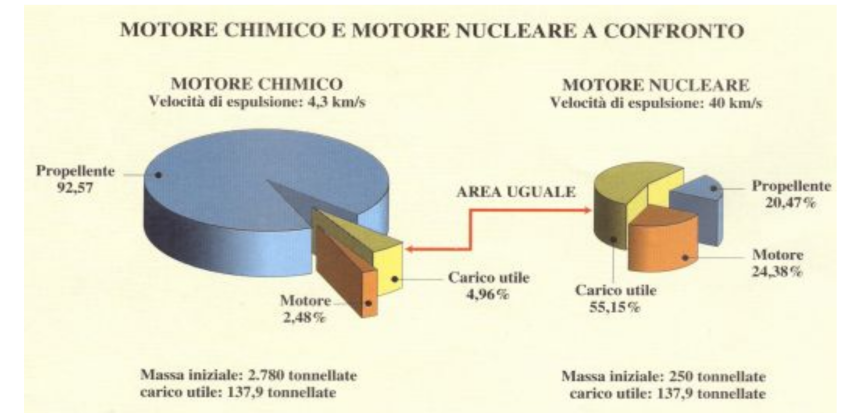
Propulsione nucleare



- riduzione di masse e ingombri;
- possibilità di prestazioni e autonomie migliori.

Elettrici

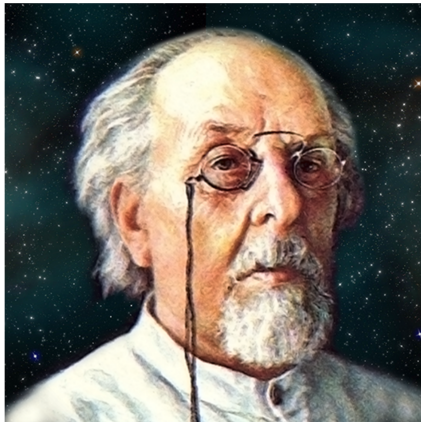
Termici



Img.1: propulsore chimico e nucleare a confronto per quanto riguarda il rapporto carico utile su massa totale [3]

Nel 1903 il russo Konstantin È. Tsiolkovsky formulò l'**equazione del razzo** :

$$m_r \left(\frac{d v_r}{d t} \right) = \left(\frac{d m_r}{d t} \right) v_e + F$$



Img.2: il padre della missilistica Konstantin È. Tsiolkovsky [4]

• impulso totale:

$$\Delta v = v_e \ln \left(\frac{m_0}{m_f} \right)$$

• Da cui:

$$m_f / m_0 = e^{(v_e / \Delta v)}$$

IMPULSO SPECIFICO

$$I_s = \frac{v_e \left(\frac{d m_r}{d t} \right)}{g_0 \left(\frac{d m_r}{d t} \right)} = v_e / g_0 \text{ (sec)}$$

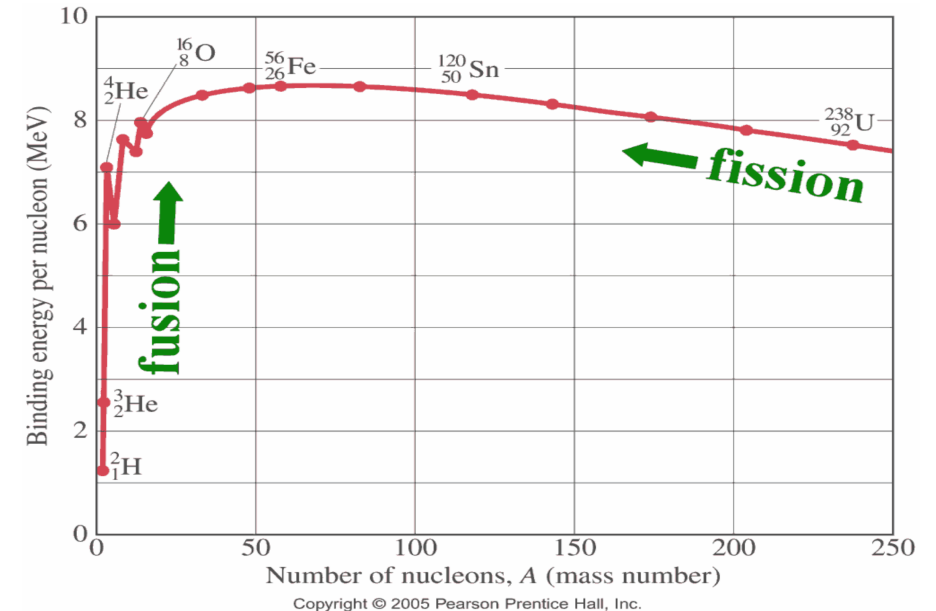
$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - M > 0$$

Legge del difetto di
massa

Da essa si può ricavare l'energia necessaria da fornire ai nucleoni nello stato

legato per portarli allo stato libero ovvero: $E = \Delta m c^2$

Img.4: andamento dell'energia di
legame in funzione del numero di
massa A [2]



Reazioni	Temperatura di ignizione	Energia prodotta keV
$D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n$	4 keV	17,600
$D + \text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + p$	30 keV	18,300
$D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n$	35 keV	4,000
$D + D \rightarrow T + p$	35 keV	4,000

Img.6: schema reazioni di Fusione [2]

FUSIONE PULITA ←

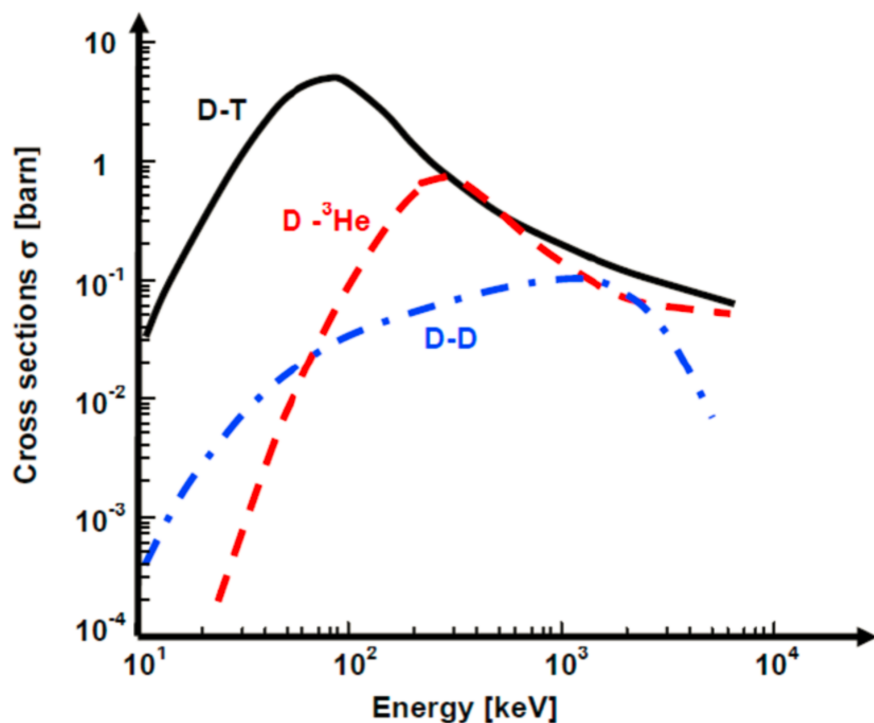
Tra le più rilevanti reazioni di fusione, ci sono quelle che coinvolgono il **deuterio** e il **trizio**



VANTAGGI:

1. Reagenti **facilmente ottenibili**
2. **Grandissime quantità di energia a minore impatto ambientale**

Probabilità che avvenga una
reazione \rightarrow sezione d'urto
 $\sigma(\epsilon)$.

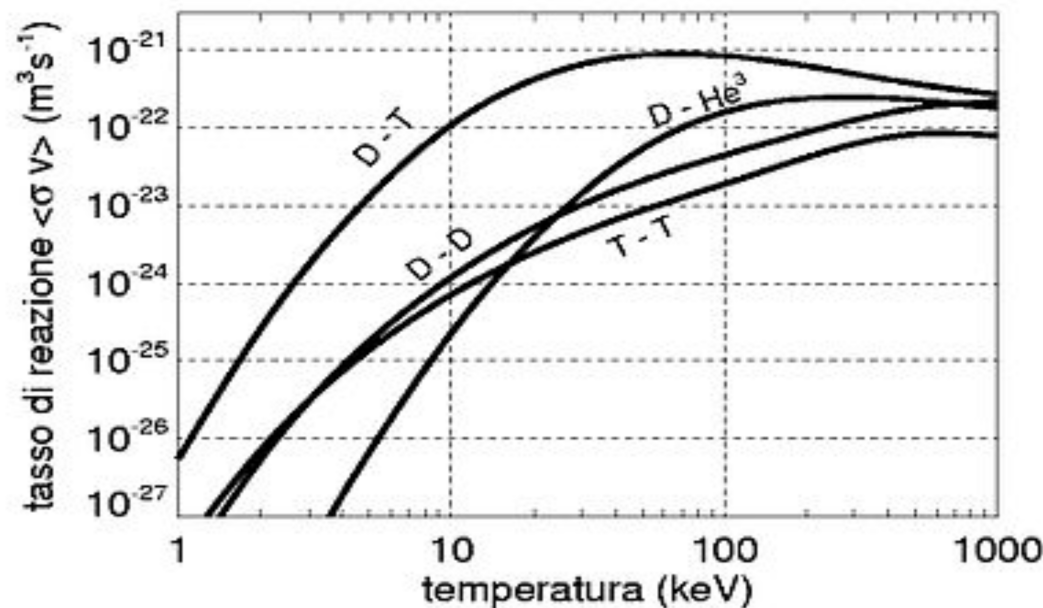


Img.7: andamento della sezione d'urto
in funzione dell'energia [2]

Reaction Rate R_{12}

$$R_{12} = n_1 n_2 (\sigma v)_{12}$$

La grandezza $(\sigma v)_{12}$ in gas in equilibrio termodinamico, dipende solo
dalla temperatura.



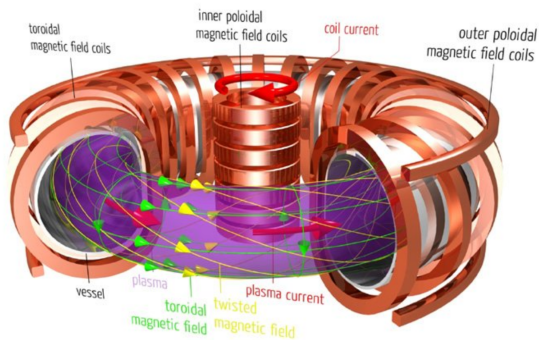
Img.8: andamento
del tasso di
reazione in
funzione della
temperatura [2]

definisco il tempo di confinamento:

$$\tau_E = E_{th}/PL$$

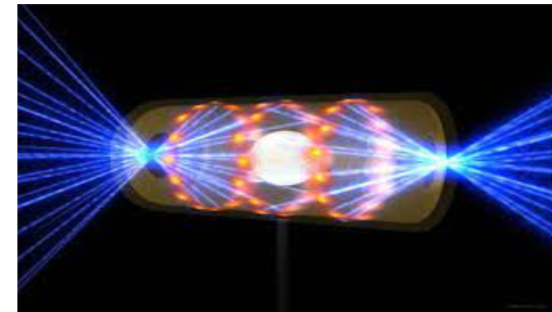
Essendo $PL = E_{th}/\tau_E$ e $PC = n^2/4 (\sigma v) E_c$ e dovendo soddisfare la condizione $PC > PL$ $\rightarrow PC/PL \geq 1 \rightarrow n\tau_E \geq (12/E_c)(T/(\sigma v)) = F(T) \rightarrow$ CRITERIO DI LAWSON

Confinamento magnetico



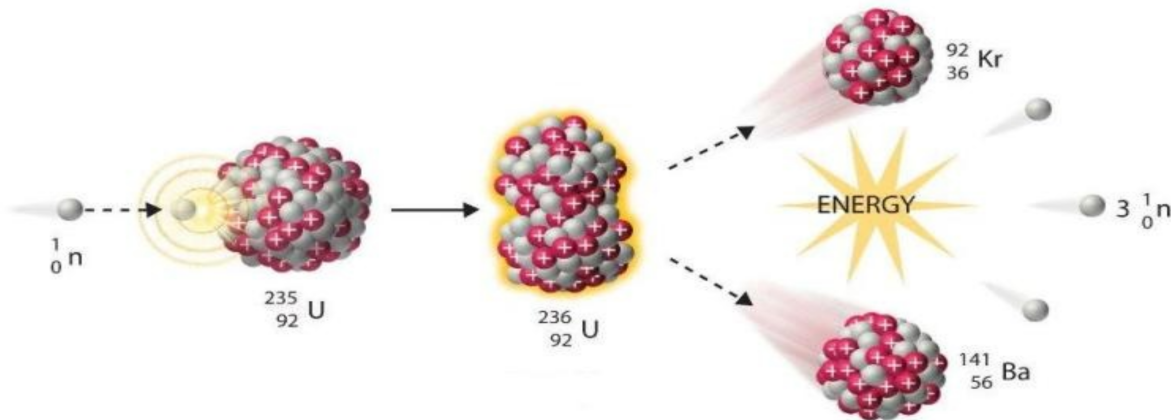
Img.9: immagine rappresentativa della configurazione Tokomak [2]

Confinamento inerziale



Img.10: immagine rappresentativa della configurazione a confinamento inerziale [2]

si basa è la **scissione di un nucleo atomico** relativamente **pesante** in due o più nuclei **leggeri**.



Img.11: immagine rappresentativa di una reazione di fissione [6]

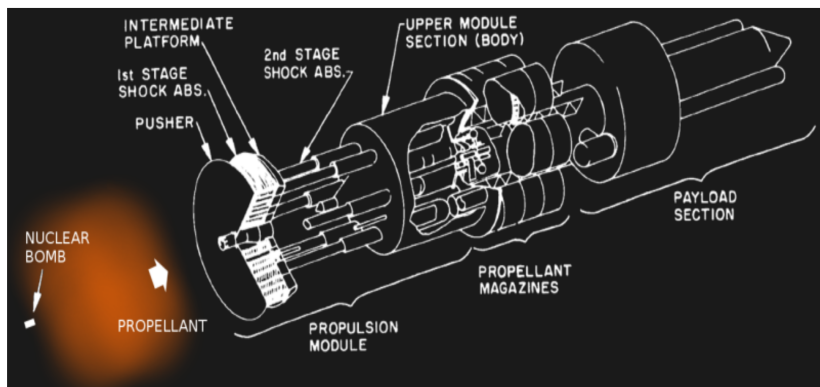
Un reattore nucleare può raggiungere la criticità in due modi:

Con l'utilizzo di un moderatore

Reattore di tipo veloce

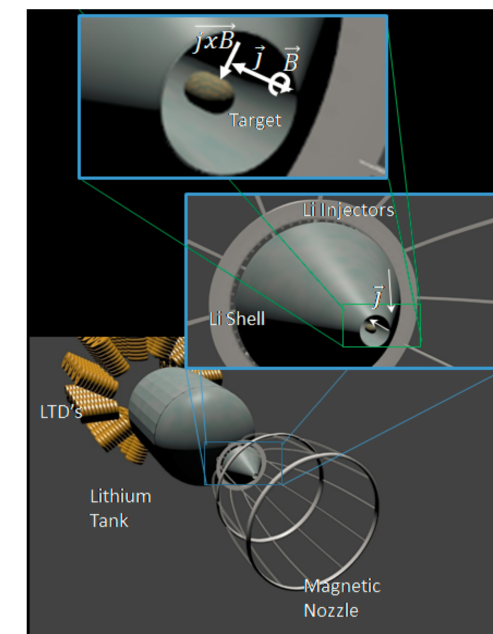
1) Propulsione a impulsi:

Bombe a fissione:



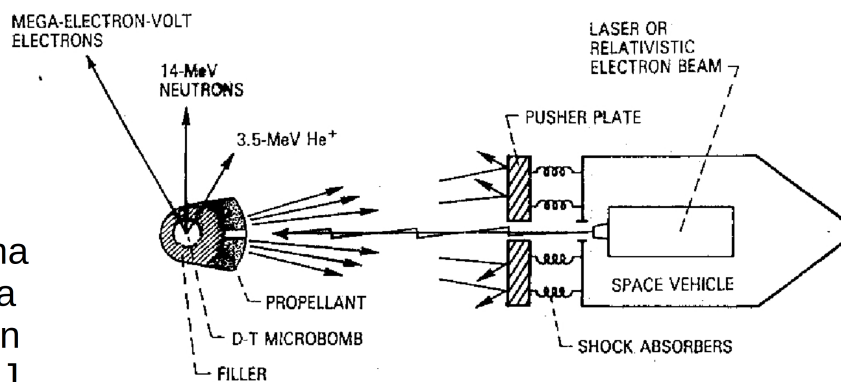
Img.12: Schema funzionale della propulsione con bombe a fissione nucleare [1]

Fissione-fusione pulsata:



Img.14 Schema funzionale della propulsione PUFF [5]

Microbombe a fusione:



Img.13: Schema funzionale della propulsione con microbombe [1]

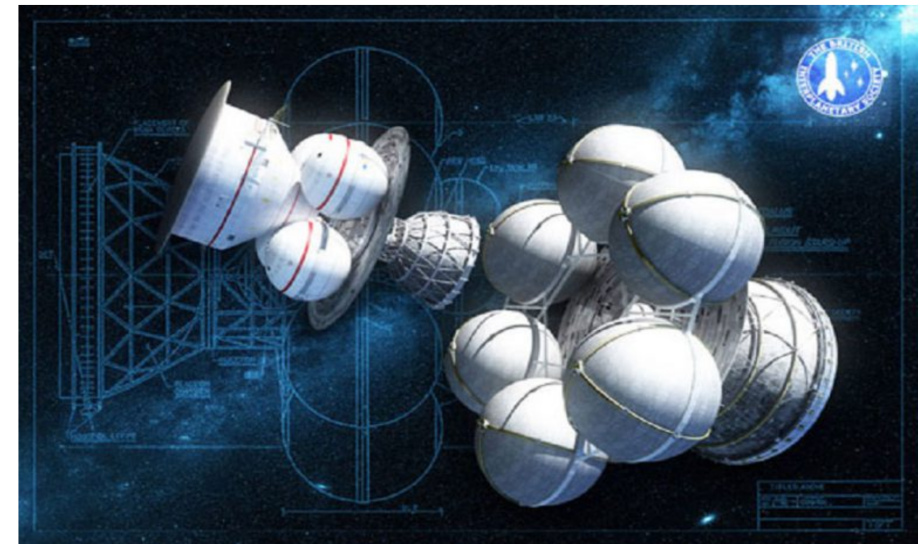
2) Propulsione nucleare senza propellente aggiunto:

Ad espulsione dei
soli prodotti di
fissione:

- camere di reazione
- forte campo
elettromagnetico

Ad espulsione dei
soli prodotti di
fusione:

Img.15: immagine di come avrebbe dovuto presentarsi la navicella Dedalus [1]



3) Propulsione termonucleare con propellente aggiunto:

A fissione:

- **Reattore nucleare piccolo**
- **Propellente (idrogeno)**

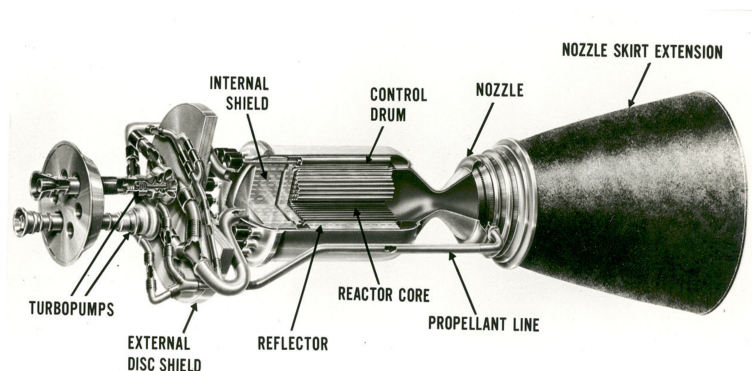
A nocciolo
solido

A nocciolo
liquido

A nocciolo
gassoso

A fusione:

- **plasma** confinato attraverso un confinamento magnetico.
- **flusso di propellente (idrogeno gassoso)**



Img.16: immagine rappresentativa di NERVA [1]

CONCLUSIONI...



1. Luca Derosa, “La propulsione spaziale avanzata, soluzioni tecnologiche innovative per viaggiare oltre il sistema solare”, Cartocci editore, Roma, prima edizione 2019
2. Gianluca Pucella Sergio E. Segre, “Fisica dei plasmi”, Zanichelli, Bologna 2010
3. http://amsacta.unibo.it/4383/1/P22_%25E2%2580%2593_Propulsione_nucleare.pdf
4. <https://cdfbari.cloud.ba.infn.it/wp-content/uploads/file-manager/CIF/Triennale/Tesi%20di%20laurea/10-11-FRANDESCANGELI%20Claudia.pdf>
5. <https://www.nasa.gov/puff>
6. <https://core.ac.uk/download/pdf/14690335.pdf>