

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

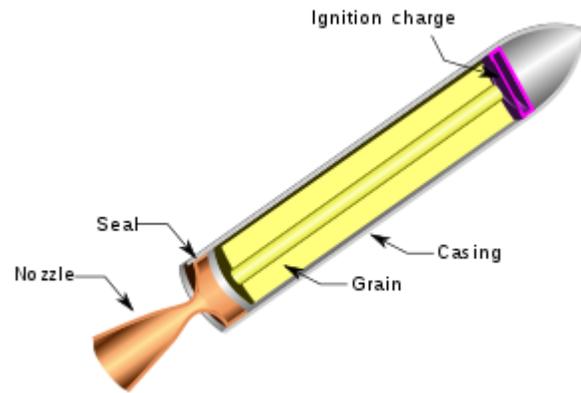
***Relazione per la prova finale
«Propellenti green: definizione, stato
dell'arte e sviluppi futuri»***

Tutor universitario: Prof.ssa Roberta Bertani

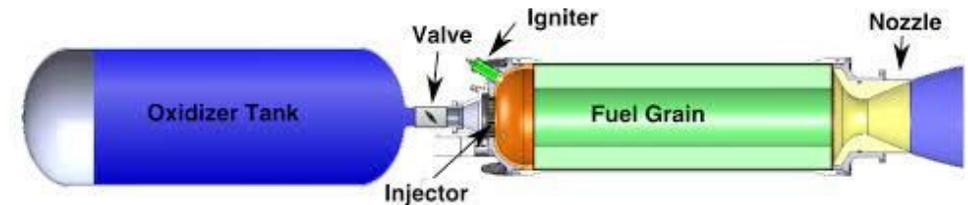
Laureando: *Davide Cazzola*

Padova, 25/11/2022

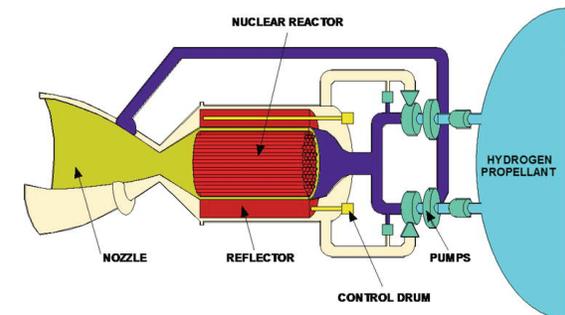
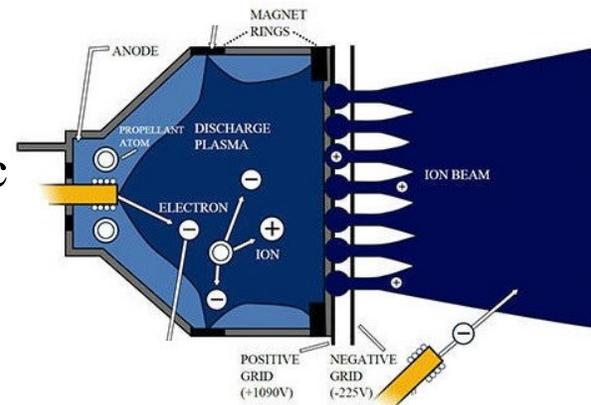
LIQUIDI: fasi diverse, design complesso,
decomposizione o combustione;



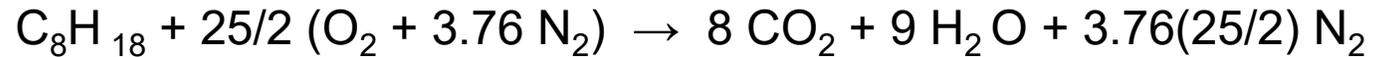
SOLIDI: scopi diversi, semplice design del motore,
combustione di 'grani';



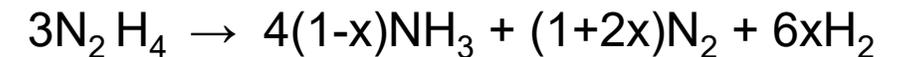
ALTRE TECNICHE: prop. ibrida, nucleare, elettrica, ecc



COMBUSTIONE



DECOMPOSIZIONE



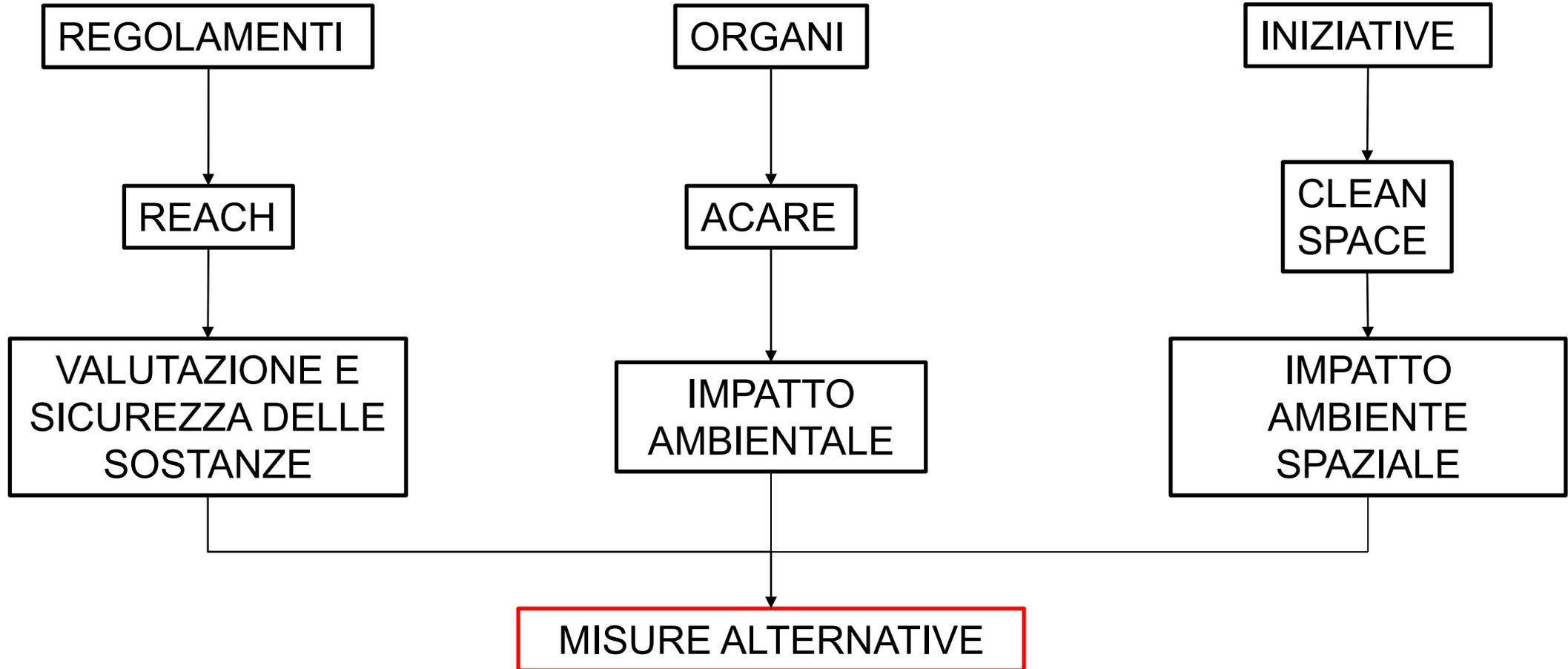
ENTRAMBI I PROCESSI SI BASANO SUL CAMBIO DI ENTALPIA

IL PRIMO TRAMITE RIORGANIZZAZIONE MOLECOLARE MENTRE IL SECONDO TRAMITE LA DIVISIONE DI MOLECOLE PIÙ PESANTI IN ALTRE PIÙ LEGGERE AD ENTALPIA MINORE

LA COMBUSTIONE GARANTISCE MAGGIORI IMPULSO SPECIFICO E T° DI REAZIONE

CAUSA EMISSIONI DIRETTE DI GAS SERRA E MOLTEPLICI SOSTANZE INQUINANTI COME

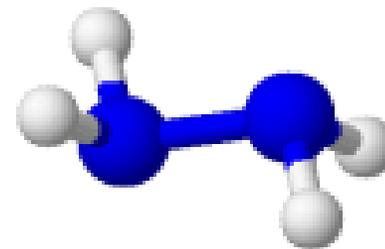
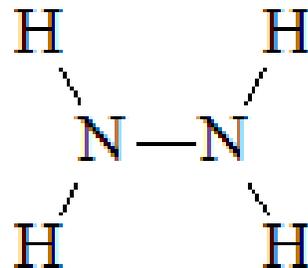
NO_x, N₂O, SO₂, H₂O



ATTUALMENTE MOLTI DEI PROPELLENTI IN USO SONO COMPOSTI DA
IDRAZINA O SUOI DERIVATI

PRO: ESTREMAMENTE PERFORMANTE, TERMICAMENTE STABILE
MA AL TEMPO STESSO IPERGOLICA, FACILMENTE CONSERVABILE

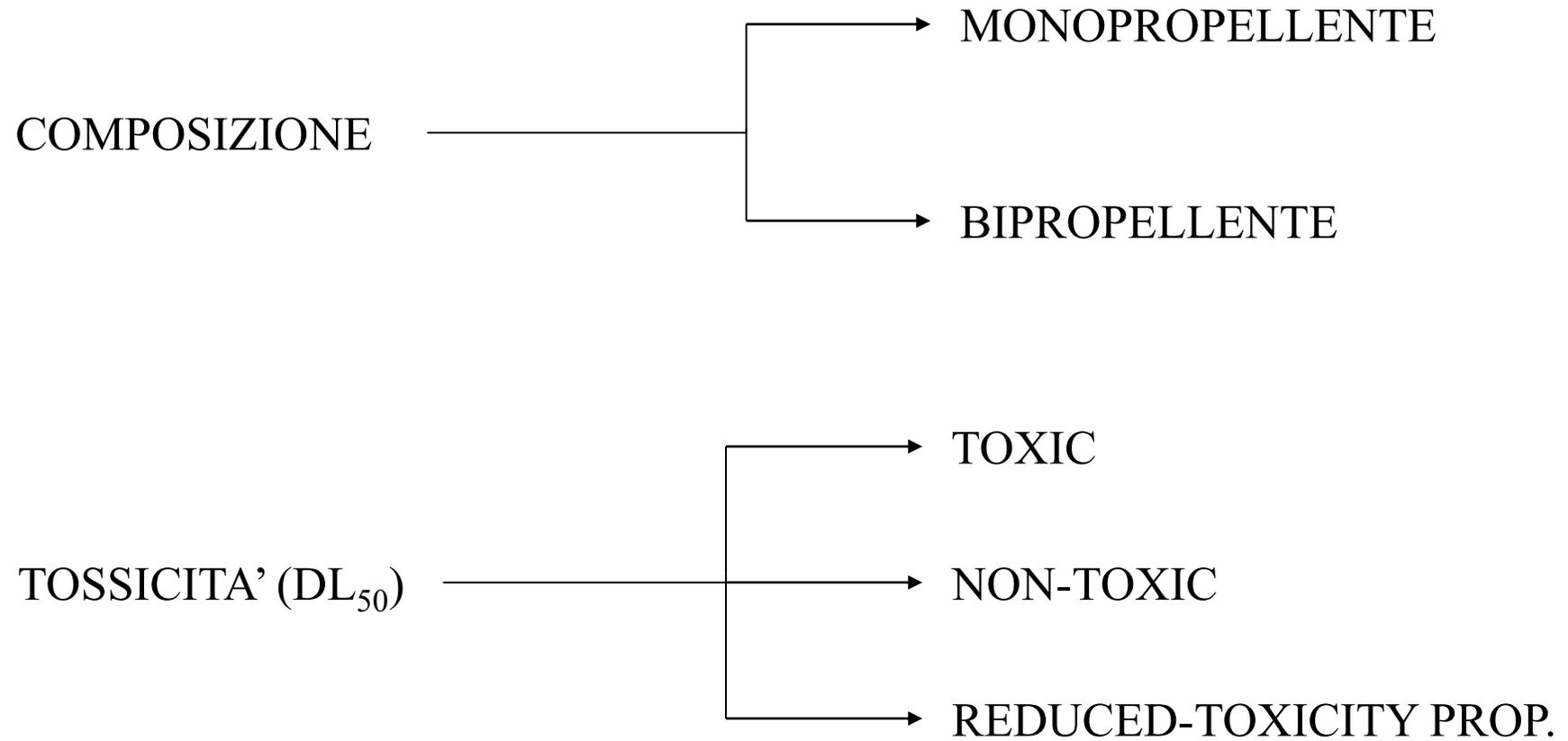
CONTRO: SOSTANZA CANCEROGENA E TOSSICA,
INQUINANTE PER L'AMBIENTE E DI DIFFICILE GESTIONE



- È UTILE ANALIZZARE LA “ROCKET EQUATION”

$$\Delta V = g I_{sp} \ln(m_i/m_f) \quad \text{con} \quad m_f = m_i - m_p$$

- ASPETTI DI GESTIONE E SICUREZZA DEL PROPELLENTE, QUINDI AVERE UN COMPOSTO SENZA STRINGENTI NECESSITÀ DI STORAGE
- MINIMA TOSSICITÀ DELLA SOSTANZA, QUINDI A LIVELLO DI SALUTE E SICUREZZA, CONSIDERANDO ANCHE LE CONSEGUENZE ECONOMICHE
- EQUILIBRIO TRA STABILITÀ TERMICA E DETONABILITÀ, RICHIESTA QUASI CONTRADDITTORIA MA NECESSARIA



SOSTANZA CARATTERIZZATA DA UNA RIDOTTA
TOSSICITÀ, QUINDI NON TOSSICA

CHE COMPORTI PRODOTTI DI SCARICO NON
MALIGNI, SIA PER L'UOMO CHE PER L'AMBIENTE

DOTATA DI MIGLIORI CARATTERISTICHE DI
MANEGGEVOLEZZA TERMICA E PER LA SANITÀ
DEGLI ADDETTI AI LAVORI

| | PRO | CONTRO |
|--------------------------------|---|--|
| PEROSSIDO DI IDROGENO | <ul style="list-style-type: none"> • BEN STUDIATO E DOCUMENTATO • NON INQUINANTE O TOSSICO | <ul style="list-style-type: none"> • DIFFICILE CONSERVAZIONE • TERMODIN. INSTABILE |
| MISCELE DI PROTOSSIDO DI AZOTO | <ul style="list-style-type: none"> • PERFORMANCE ELEVATE • BASSA TOSSICITÀ • COSTI LIMITATI | <ul style="list-style-type: none"> • PROPRIETÀ ESPLOSIVE SCONOSCIUTE |
| LIQUIDI IONICI | <ul style="list-style-type: none"> • NON CANGEROGENI E NON TOSSICI • PERFORMANCE ELEVATE • COMPATIBILITÀ CON ALTRI MATERIALI | |

- SALI ALLO STATO LIQUIDO A T° AMBIENTE
- CLASSE ESTESA DI COMPOSTI (HFN, HAN, ADN, ecc.)
- MIX DI SALE OSSIDANTE, COMBUSTIBILE E ACQUA
- ALTA DENSITA'

| Salt | Formula | Mw | Solubility ^a (%) | Ω^b (%) |
|------|-------------------|-------|-----------------------------|----------------|
| HNF | $N_2H_5C(NO_2)_3$ | 183.1 | 53 [133] | +13 |
| HAN | NH_3OHNO_3 | 96.0 | 95 [16] | +33 |
| ADN | $NH_4N(NO_2)_2$ | 124.1 | 78 [135] | +26 |

^a Solubility in water at 20 °C.

^b Oxygen balance; excess oxygen when forming CO₂ and H₂O.

| Properties | Hydrazine | FLP-106 | LMP-103S |
|---|-----------------------|-------------------|----------|
| I_{sp} (s) ^a | 225-250 ^b | 261 | 253 |
| ρ at 25 °C (g/cm ³) | 1.004 | 1.357 | 1.238 |
| $\rho \cdot I_{sp}$ (gs/cm ³) | 225-250 | 354 | 313 |
| T_c (°C) | 850-1150 ^b | 1910 | |
| T_{min} (°C) ^c | 2 | 0 | -7 |
| p_v at 25 °C (mbar) | 19 | < 21 ^d | 136 |
| Acute toxicity LD ₅₀ (mg/kg) | | 1270 | 750-800 |

^a Vacuum specific impulse. Nozzle area expansion: 50.

^b Dependent on the amount of ammonia dissociation, usually 30-70% [1,50].

^c Minimum service temperature determined by freezing (hydrazine) or precipitation (ADN).

^d Calculated using Raoult's law.

I LIQUIDI IONICI NON SONO ESENTI DA PROBLEMATICHE, PRINCIPALMENTE SONO:

1. **TECNICA DI ACCENSIONE E POTENZA:** CATALIZZATORI PIÙ PRESTANTI E POTENZE RICHIESTE MAGGIORI
2. **LIFETIME RIDOTTA:** T° PIÙ ALTE, RAPIDE TRANSIZIONI TERMICHE ED AMBIENTI CORROSIVI
3. **PENNACCHIO:** RELAZIONE CON AMBIENTE ESTERNO ANCORA IN ANALISI
4. **TECNICHE DI FABBRICAZIONE E COSTI:** MATERIALI PRESTANTI E MANIFATTURA PIÙ COSTOSA
5. **NUOVE FORMULAZIONI:** MOLTE VARIANTI DA TESTARE, NON CI SONO STANDARD SICURI
6. **GARANZIE:** AGENZIE SUPPORTANO TECNOLOGIE SICURE ED AFFERMATE



OLTRE ALLE LOGICHE MOTIVAZIONI PRECEDENTI, CI SONO ALTRI MOTIVI ‘LATERALI’ PER INVESTIRE SU QUESTA TECNOLOGIA:

- MIGLIORAMENTO DELLE TECNOLOGIE DI SUPPORTO (SENSORI, MATERIALI, ECC)
- NUOVE TECNICHE DI ANALISI, DIAGNOSTICA E SIMULAZIONE
- STUDIO SU MATERIALI E TECNOLOGIE PRODUTTIVE PIÙ EFFICIENTI
- IMPLEMENTAZIONE DI METODI DI GESTIONE E DISPERSIONE DEL CALORE

SONO MOLTEPLICI LE REALTÀ CHE PUNTANO SU QUESTO TIPO DI PROPULSIONE:

AZIENDE: ECAPS E BALL AEROSPACE, TRAMITE
COLLABORAZIONI CON NASA ED ESA



**Ball Aerospace &
Technologies Corp.**



**bradford
ecaps**



PROGETTI: GRASP (GREEN ADVANCED SPACE PROPULSION)
1° ESEMPIO DI FINANZIAMENTO DALL'UE

MISSIONI: GPIM E PRISMA, PRIMI TEST DAL 2007 FINO
ALL'ULTIM UTILIZZO NEL FALCON HEAVY (2019)



LA TECNOLOGIA DEI **HPGP** HA DIMOSTRATO
MIGLIORAMENTI IN AMBITO DI SICUREZZA E
INQUINAMENTO COSI' COME A LIVELLO DI
PRESTAZIONI.

INOLTRE E' GIA' STATA SELEZIONATA COME
'**BASE DI PROPULSIONE**' PER SPECIFICHE
MISSIONI EUROPEE ED USA.

TUTTAVIA PER RIDURRE IL RISCHIO ED IL COSTO
SONO NECESSARI ULTERIORI RICERCA E
SVILUPPO PER ALLONTANARSI DAGLI ATTUALI
PROPELLENTI VERSO UNA DIREZIONE
MAGGIORMENTE ECOLOGICA.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042114000797>
- <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180006412>
- <https://cordis.europa.eu/project/id/218819/it>
- <https://history.nasa.gov/conghand/propelnt.htm>
- https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/green/index.html
- <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/2.6948>
- <https://www.ecaps.space/hpgp-characteristics.php>
- <https://www.acare4europe.org>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772422022000234>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667134422000153>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667134422000141>
- https://www.researchgate.net/publication/309804203_Hydroxylammonium_nitrate_HAN-based_green_propellant_as_alternative_energy_resource_for_potential_hydrazine_substitution_From_lab_scale_to_pilot_plant_scale-up
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/prop.201900248>