

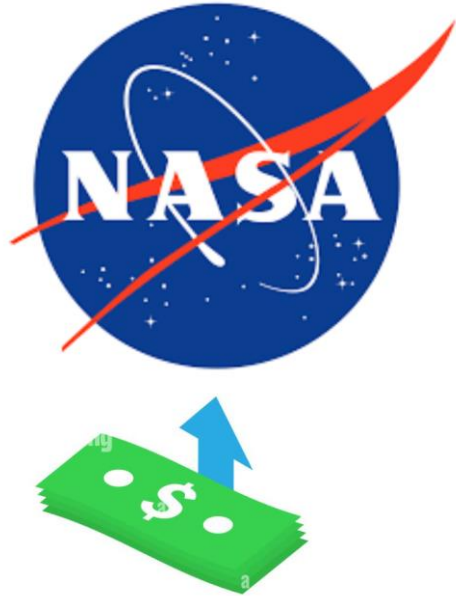
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

# ***Il metano come combustibile nei motori a razzo***

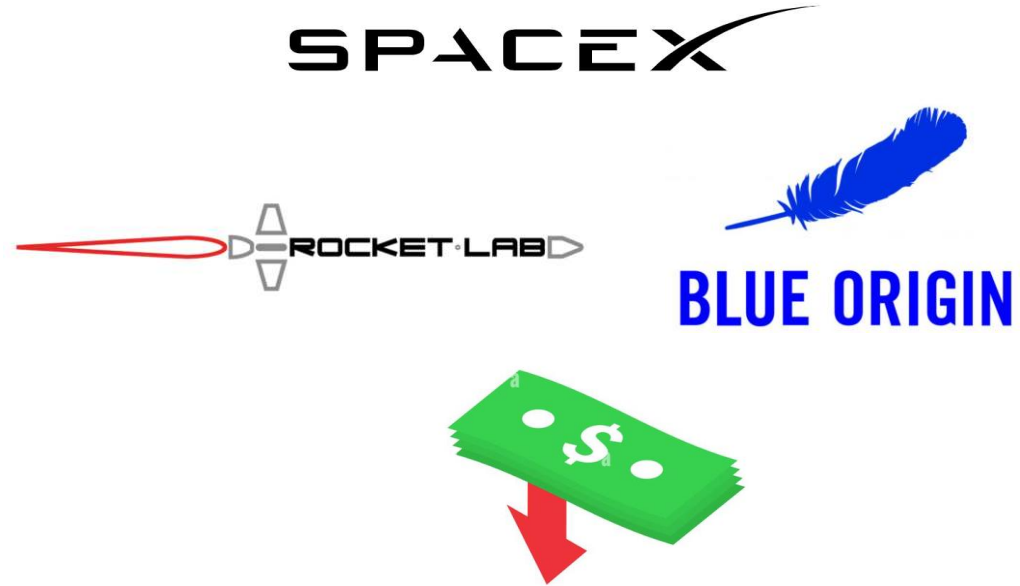
Tutor universitario:  
Prof.ssa Roberta Bertani

Laureando:  
*Nicholas Silvestrin 1221080*

Padova, 27/09/2024



Agenzie governative con prerogative di difesa e scienza: alto budget



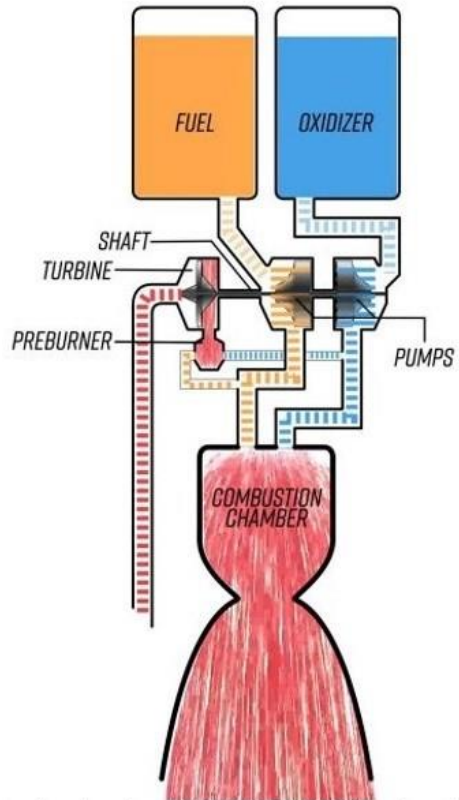
Compagnie private per trasporto merci e space tourism: basso budget

Soluzione



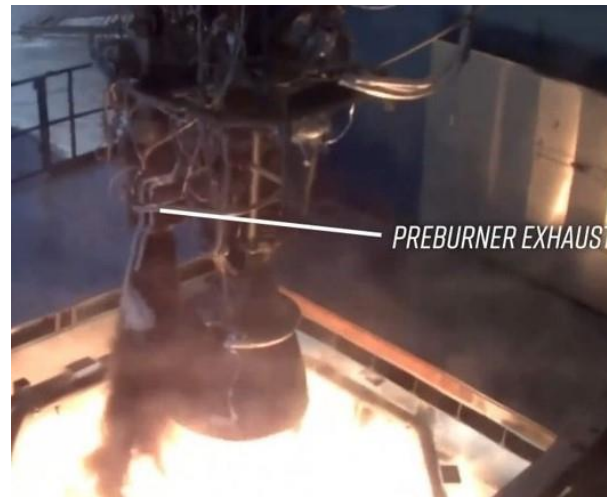
Sviluppare un lanciatore in grado di essere riutilizzato

La precombustione viene fatta avvenire in eccesso di carburante (fuel rich)



## Il problema del COKING

Materiale altamente poroso e resistente, può bloccare gli iniettori o danneggiare la turbina



Possibilità di riutilizzo con molta manutenzione

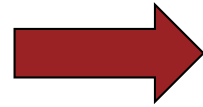


Semplicità costruttiva

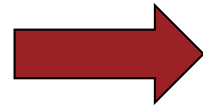


Ciclo meno efficiente

In questo sistema un precombustore funziona con eccesso di combustibile (fuel rich) e uno in eccesso di ossidante (oxygen rich)



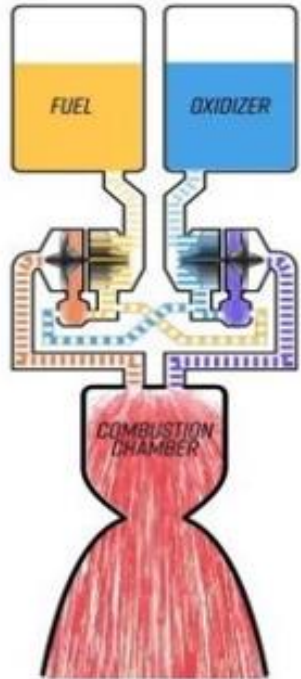
Vita operativa più estesa per tutto il sistema delle turbopompe



Il sistema si complica ma si raggiunge un'efficienza molto alta



Ciclo perfetto per implementare un motore riutilizzabile



## Che combustibile utilizzare?



RP-1

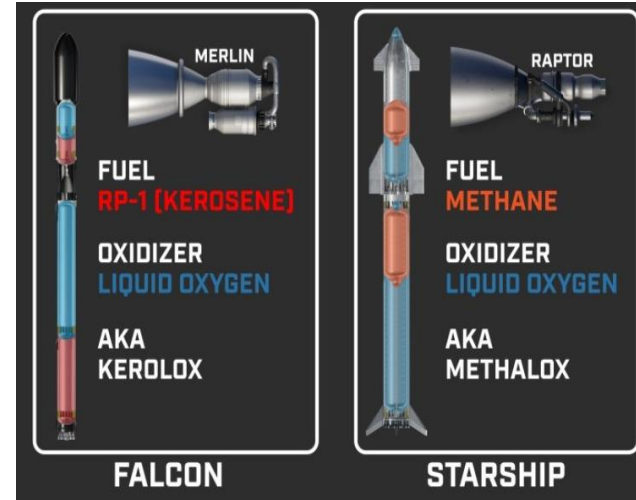
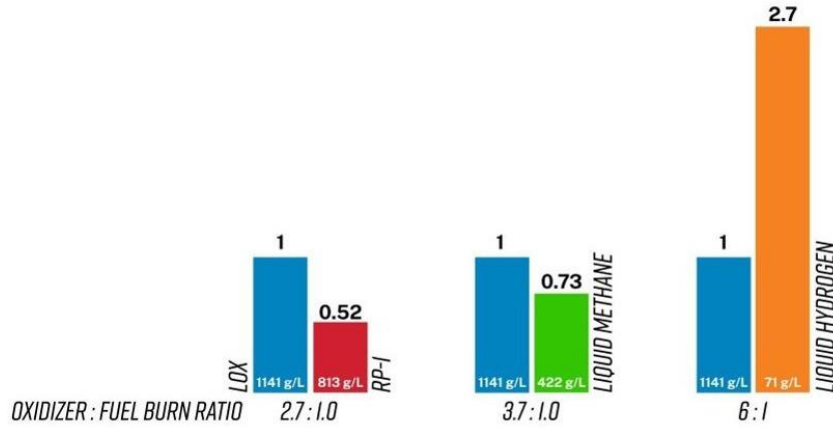
Impossibile l'utilizzo per il coking



HYDROGEN



METHANE

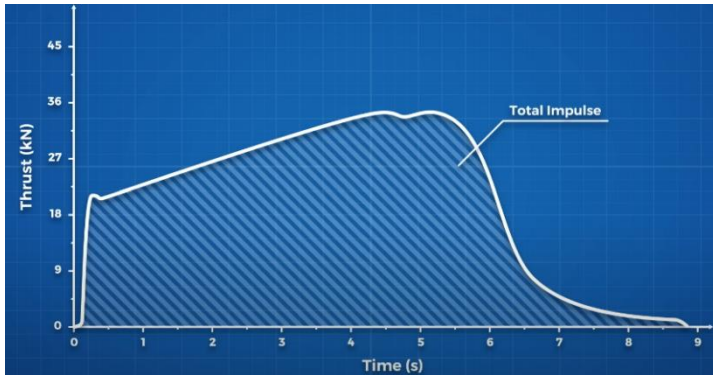


Più denso è il carburante più le cisterne saranno piccole e leggere per una data massa



Il rapporto ossidante/combustibile ci permette di capire quanto grandi dovranno essere le cisterne

Il mix di propellente metano/ossigeno consente di ottenere dei serbatoi 3,7 volte più piccoli confrontati con l'idrogeno!



L'impulso totale ci fornisce l'energia complessivamente rilasciata dal motore in un periodo di tempo

$$I_{sp} = \frac{\text{Total impulse}}{\text{propellant weight}}$$



**Efficienza**  
(massimo ISP teorico)

RP-1	Methane	Hydrogen
370 s	460 s	530 s



Combinando densità e calore specifico di combustione possiamo farci un'idea di quali temperature si possono raggiungere e quanta energia si riesce a ricavare da ogni singolo combustibile



Se si vogliono rilasciare 100 Megajoule di energia da ogni carburante si dovranno avere:

- 11,9 litri di idrogeno
- 5,5 litri di metano
- 2,2 litri di kerosene



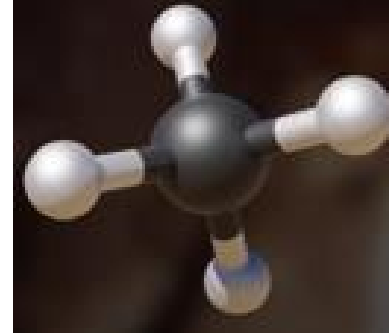
## RP-1

Impossibile  
l'utilizzo in un ciclo  
chiuso per il  
problema del  
coking



## HYDROGEN

- Richiede taniche grandi
- Punto di ebollizione basso (252°C)
- Metalli sottoposti a infragilimento da idrogeno



## METHANE

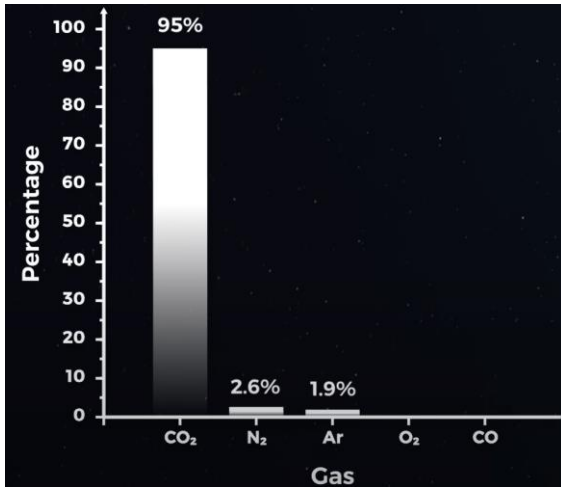
- Meno fuliggine
- Punto di ebollizione simile all'ossigeno
- Riutilizzabile con poca manutenzione



Perché non si è  
sfruttato prima?

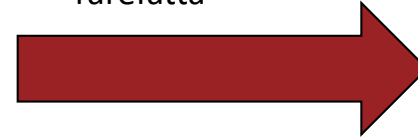


I suoi benefici vengono sfruttati solo adesso che sta venendo perfezionata la tecnologia per il riutilizzo

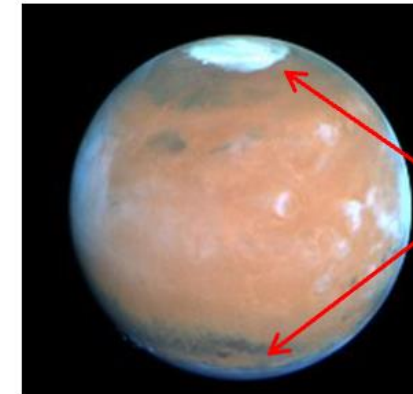


L'atmosfera di Marte è composta quasi interamente da anidride carbonica

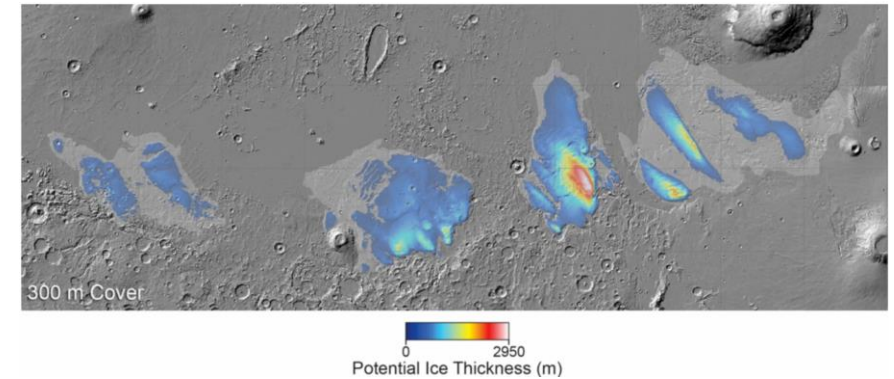
L'atmosfera estremamente rarefatta



rende impossibile la presenza di acqua liquida.



Polar ice caps



Lo studio dei depositi di ghiaccio aiuta a capire dove è l'acqua di Marte



un tempo fluiva e quindi dove può essere trovata oggi

L'acqua su Marte si trova principalmente nelle calotte polari, in forma di permafrost, o in forma di ghiaccio, nel sottosuolo, lungo l'equatore

Mars Express has found much **evidence of water** on Mars from ancient times to present day

Discovery of **hydrated minerals** shows liquid water survived for a long time on the planet's surface

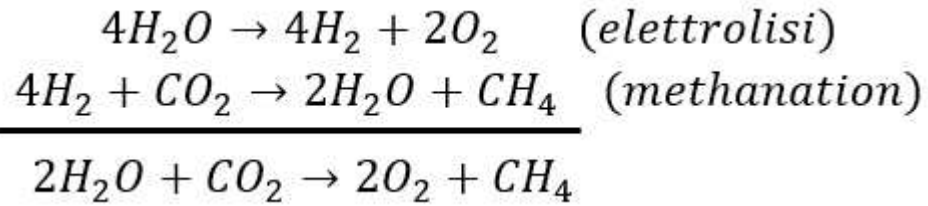
Radar data revealed a **pond of liquid water** buried under layers of ice and dust in the south polar region

**Water-ice** is present at the planet's poles

**River networks** show vast volumes of water once flowed across the surface

Geological evidence of a system of **ancient interconnected lakes** that once lay deep beneath the planet's surface



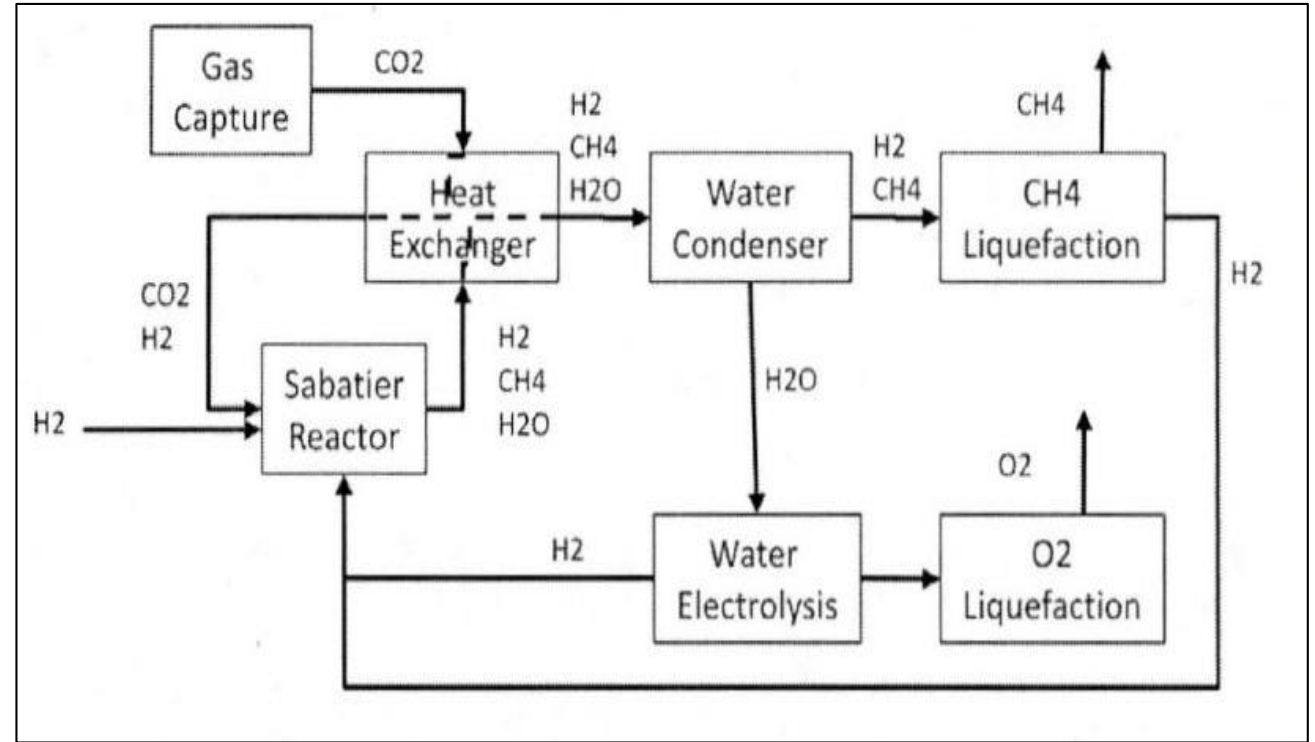


$2O_2 \rightarrow 63,996 \text{ g/mol}$   
 $CH_4 \rightarrow 16,042 \text{ g/mol}$

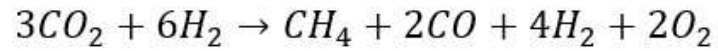
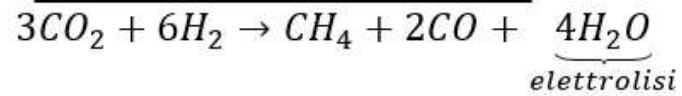
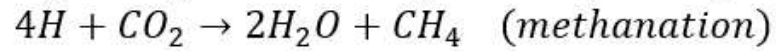
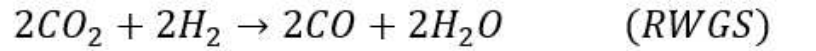


Restituisce un rapporto di massa dei prodotti di circa 4:1

Il processo ci dà un eccesso di ossigeno che eventualmente può essere utilizzato a supporto vitale

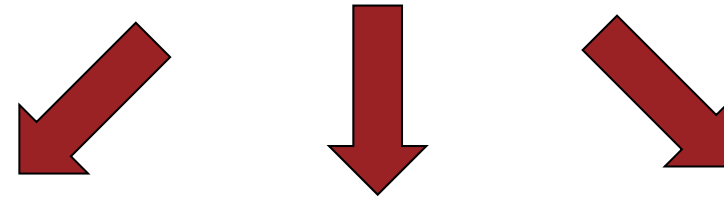


Schema di produzione di propellente su Marte utilizzando la reazione di Sabatier



Il vantaggio di tale processo è che può essere implementato nello stesso reattore di Sabatier

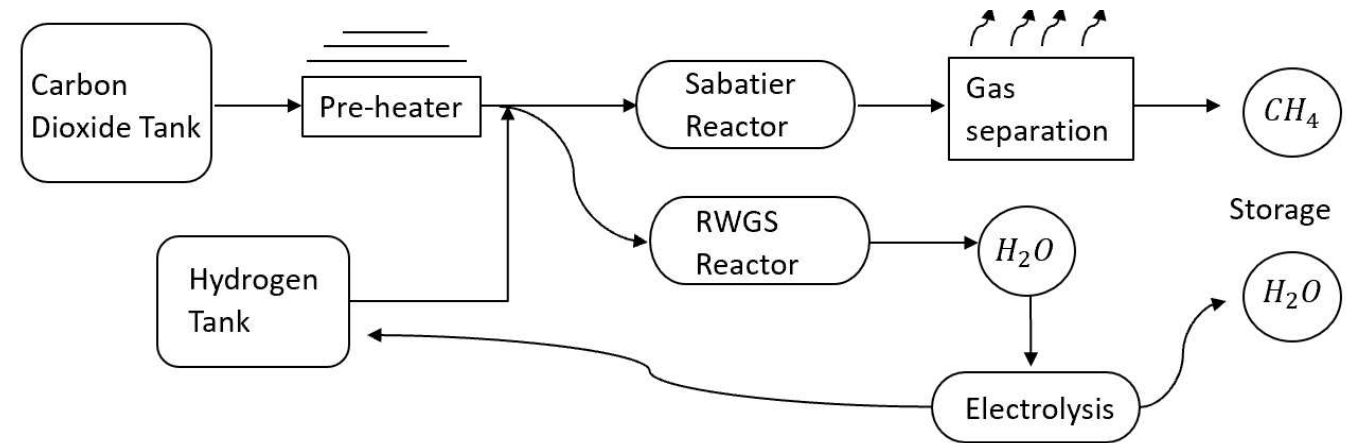
## Conseguenze



Stesso rapporto di massa dei prodotti 4:1

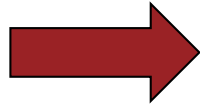
Consumo di idrogeno è minimo.

Aumento dell'efficienza del processo



Schema di stoccaggio del propellente utilizzando le reazioni Sabatier e RWGS nello stesso reattore

Come fare per avere i reagenti necessari alle reazioni descritte?

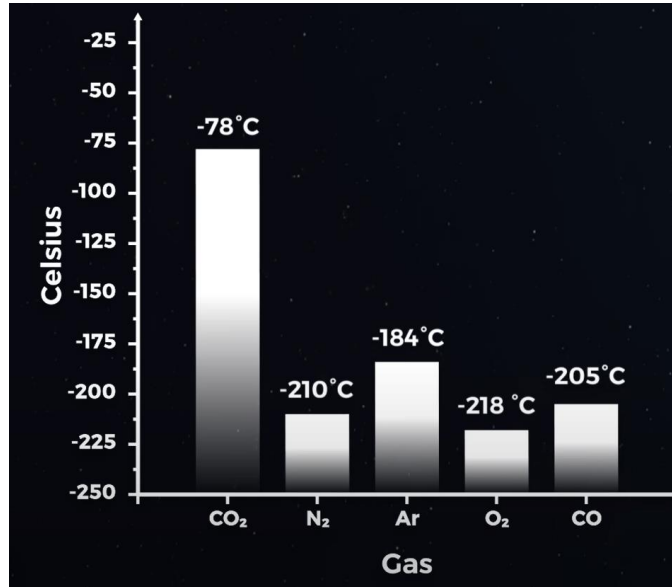


Si può pensare di trasportarli dalla Terra a Marte

Insostenibile nel lungo periodo

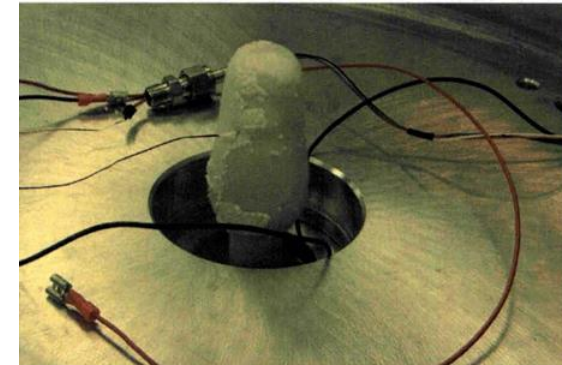


Soluzione: utilizzare le risorse disponibili sul pianeta (ISRU)



**Cryofreezing dell'anidride carbonica**

Raffreddando l'aria, la CO<sub>2</sub> si solidificherà mentre gli altri gas rimarranno tali



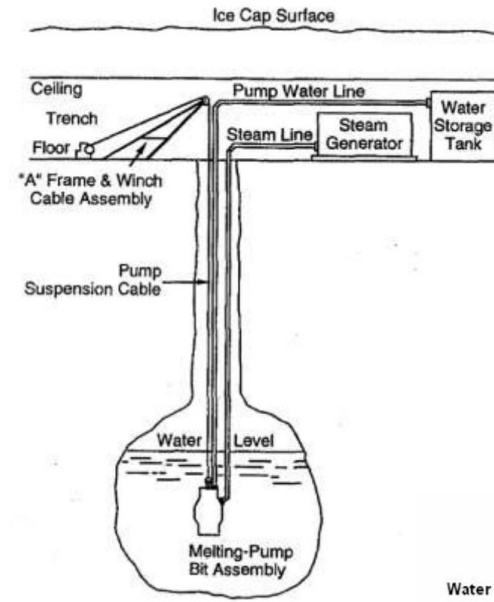
Ghiaccio di anidride carbonica accumulatosi in una cryocooler cold tip a cilindro di rame

## Mining di ghiaccio per l'idrogeno

Rappresenta la sfida tecnologicamente più complessa da realizzare

Tecniche esistenti e già perfezionate

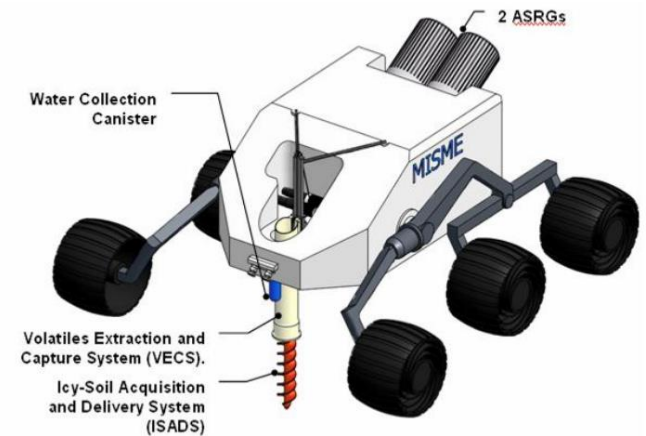
### Rodwells



Ghiaccio e neve vengono sciolti e immagazzinati sotto la superficie del ghiaccio

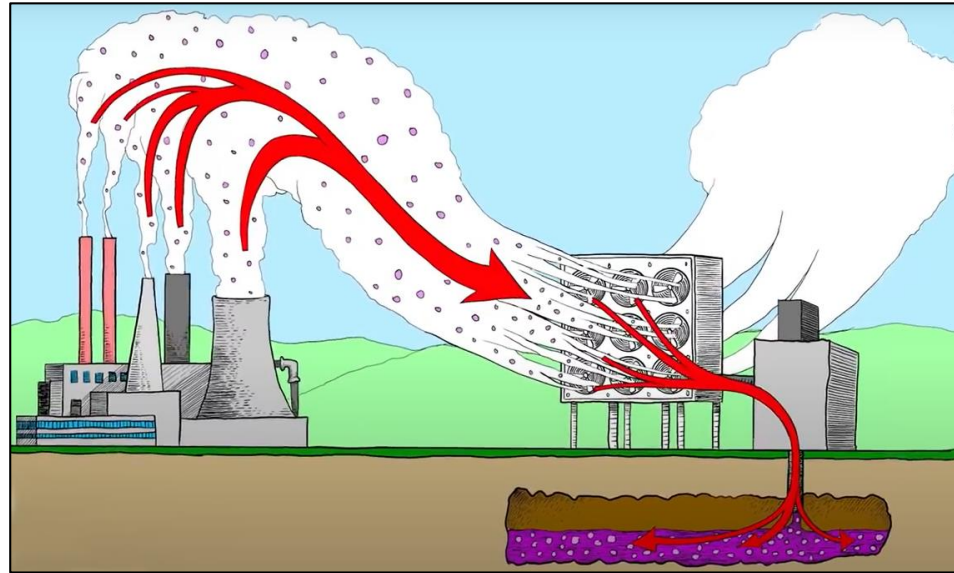
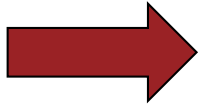
Tecniche in via di studio e da perfezionare

- Reattori per processare il permafrost marziano
- Perforazione di ghiaccio a poca profondità



Mobile In Situ Water Extractor (MISWE)

Sabatier e  
RWGS



Processo altamente  
costoso in termini  
energetici e finanziari



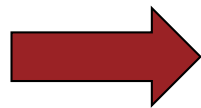
Possibilità di creare  
un'economia intorno  
alla cattura di  $CO_2$  e  
produzione di  
propellente

*Metodi per mitigare gli effetti del cambiamento climatico sulla Terra*

Servono  
investimenti!



Il metano è l'unica possibilità se si vuole creare un sistema di trasporto andata/ritorno efficiente e poco costoso.



Rimangono ancora dei fattori limitanti:

- Il trasporto iniziale dei materiali
- L'enorme quantità di energia
- Tecnologie ancora poco sviluppate sotto alcuni aspetti



I margini di miglioramento sono molto ampi e, nonostante sia un progetto molto ambizioso, è di fatto realizzabile



*L'esplorazione dello spazio fornisce soluzioni innovative ai problemi che affrontiamo qui sulla Terra*



# Grazie per l'attenzione

- [1] Anthony C. Muscatello, Edgardo Santiago-Maldonado., *Mars In Situ Resource Utilization Technology Evaluation*, 2012
- [2] Donald Rapp, Vassilis J. Inglezaskis., *Mars In Situ Resources Utilization (ISRU) with Focus on Atmospheric Processing for Near-Term Application- A Historical Review and Appraisal*, 2024
- [3] Robert M. Zubrin, Anthony C. Muscatello., *Integrated Mars In Situ Propellant Production System*, 2005
- [4] Thomas R. Watters., *Evidence of Ice-Rich Layered Deposits in the Medusae Fossae Formation of Mars*, 2024
- [5] Tim Dodd., *Is SpaceX's Raptor engine the king of rocket engines?*, 2019
- [6] John D. Clark., *Ignition!: An informal Hystory of Liquid Rocket Propellants*, 1972
- [7] George P. Sutton, Oscar Biblarz., *Rocket Propulsion Elements*, 9<sup>th</sup> edition, 2016
- [8] Julien Bonin, Marc Robert., *Visible-light-driven methane formation from CO<sub>2</sub> with a molecular iron catalyst*, 2017



- [9] European Space Agency., *Water at Martian south pole*,  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Mars\\_Express/Water\\_at\\_Martian\\_south\\_pole](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Water_at_Martian_south_pole), 2004
- [10] European Space Agency., *Buried Water ice at Mars's equator?*  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Mars\\_Express/Buried\\_water\\_ice\\_at\\_Mars\\_s\\_equator](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Buried_water_ice_at_Mars_s_equator), 2024
- [11] Arizona State University., *Martian atmosphere – Mars education*  
<https://marsed.asu.edu/mep/atmosphere>
- [12] R.V. Mykhalchyshyn, M.S. Brezgin., *Methane, kerosene and hydrogen comparative as a rocket fuel for launch vehicle pneumohydraulic supply system development*, 2018
- [13] Kris Zacny, Phil Chu., *Mobile In-Situ Water Extractor (MISWE) for Mars, Moon and asteroid In Situ Resource Utilization*, 2012
- [14] Lunardini, V.J. and J. Rand., *Thermal Design of an Antarctic Water Well*, 1995
- [15] Stephen Hoffman, Alida Andrews., *“Mining” Water Ice on Mars An Assessment of ISRU Options in Support of Future Human Missions*, 2012