

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Industriale - Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Vantaggi e limiti dell'utilizzo dei biocarburanti e loro effetto a lungo termine sui motori

Tutor Universitario: Prof.ssa Bertani Roberta

Laureando: Florian Carlotta

Padova, 17/03/2023

Gli aeromobili non possono utilizzare motori elettrici o ibridi e sono responsabili del 2-3% delle emissioni.

Life Cycle Assessment LCA di un qualsiasi prodotto nel suo ciclo Well-to-Wake WTW:

1. Acquisizione della materia prima;
2. Trasporto dei materiali;
3. Produzione del carburante;
4. Trasporto e distribuzione del carburante;
5. Utilizzo del carburante.

Si ricercano carburanti alternativi, se hanno come fonte un materiale biologico sono detti **biocarburanti**, e possono essere divisi in:

- **Primari:** utilizzati direttamente per riscaldamento, cottura e produzione elettrica.
- **Secondari:** utilizzati per migliorare le proprietà dei biocarburanti primari.
 - Di prima generazione: bioetanolo o butanolo, biodiesel.
 - Di seconda generazione: bioetanolo o butanolo, diesel e gasolio.
 - Di terza generazione: biodiesel o bioetanolo, idrogeno.

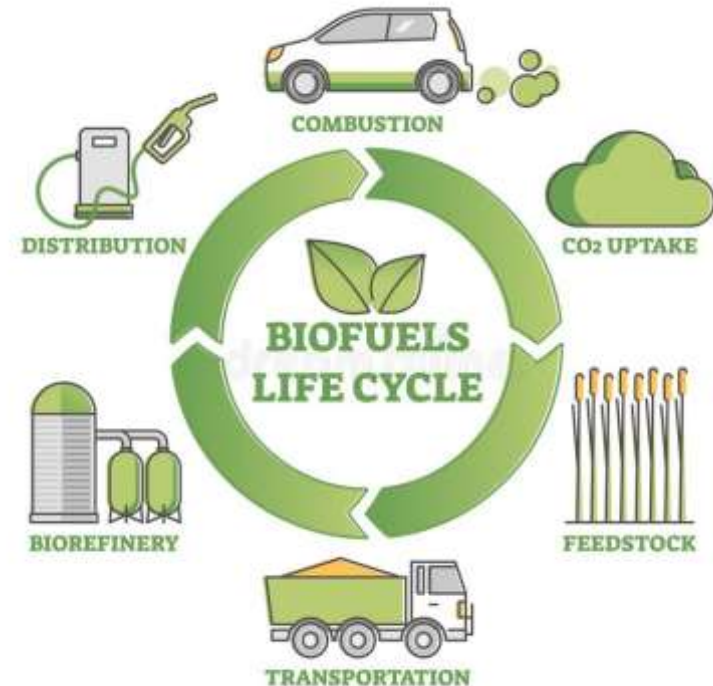
Variano in base al feedstock:

- Gli oli vegetali e di scarto sono convertiti in biojet fuel tramite **hydroprocessing** (usa raffinerie simili alle tradizionali, in futuro facilmente convertibili).
- **Alcol to jet fuel ATJ**: si parte da metanolo, etanolo, butanolo e acidi grassi. Max 10-15% in gasolio per trasporto a terra. Se migliorato può diventare drop-in fuel per l'aviazione.
- **Oil to jet fuel OTJ**: comprende tre processi, anche conosciuto come HEFA.
- **Sugar to jet fuel STJ**.

Costi di produzione

Variano in base a

- Composizione e costo delle materie prime
- Configurazione del processo
- Efficienza di conversione
- Resa del prodotto
- Utilizzo prodotti secondari



- Sostenibilità e *clean burning*
- Rinnovabilità
- Riciclo di CO₂
- Tecnologia *eco-friendly*
- Minore dipendenza dai Paesi fornitori di petrolio
- Materie prime non edibili e rinnovabili
- Ridotta emissione di gas serra
- Compatibilità con i carburanti tradizionali, con i sistemi esistenti, con le condizioni di stoccaggio e trasferimento
- Alto contenuto di calore
- Buona atomizzazione
- Rapida evaporazione
- Buone caratteristiche di combustione
- Basso rischio di esplosione
- Buona stabilità termica

- Calore netto di combustione → 42.8 MJ/kg *min*
- Punto di congelamento → -47°C *max*
- Punto di infiammabilità → 38°C *min*
- Punto di fumo → 25 mm *min*
- Viscosità cinematica @-20°C → 8 mm²/s *max*
- Densità @15°C → 775-840 kg/m³
- Acidità → 0.1 mg KOH/kg *max*
- Aromatici → 8% *min*, 25% *max* (vol)
- Zolfo → 0.3% *max* (wt)
- Conduttività elettrica → 50-450 pS/m
- Deposito massimo (test)
- Massima usura (test)

Standard

ASTM (American Society for Testing and Materials) D1655

International Air Transport Association Guidance Material

UK Ministry of Defence – Defence Standard

NATO per carburanti militari

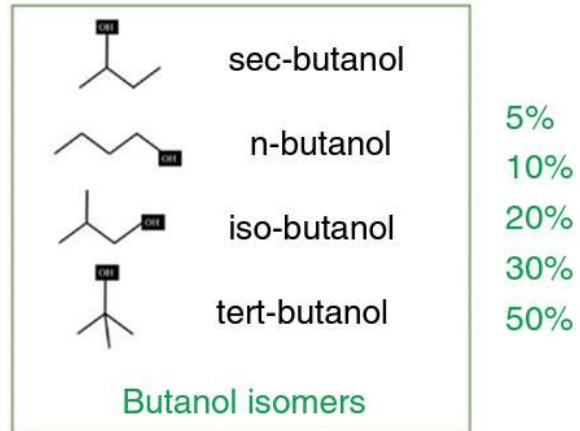
I più promettenti carburanti alternativi contenenti gruppi OH sono: butanolo, etanolo, propanolo ed etanolo-metanolo.

Produzione tramite fermentazione di biomassa.

Ha vari **vantaggi** rispetto all'etanolo, tra cui:

- Maggiore contenuto di energia (+25%)
- Minore volatilità
- Meno corrosivo
- Numero di ottani fino a 25
- Idrofobico
- Alto punto di infiammabilità
- Alta viscosità

Isomeri del butanolo possono essere miscelati in varie percentuali con il Jet A-1.



Calore di combustione:

- Jet A-1 → 47.51 MJ/kg
- 2-butanolo → 35.27 MJ/kg
- Minimo → 42.8 MJ/kg



Miscela
20% 2-butanolo

Nome comune dei Fatty Acid Esters (FAE):

- Da metanolo → FAME
- Da etanolo → FAEE

Proprietà derivate dal materiale di partenza, che può trasferire contaminazioni. Effetti negativi soprattutto se presenti metalli.

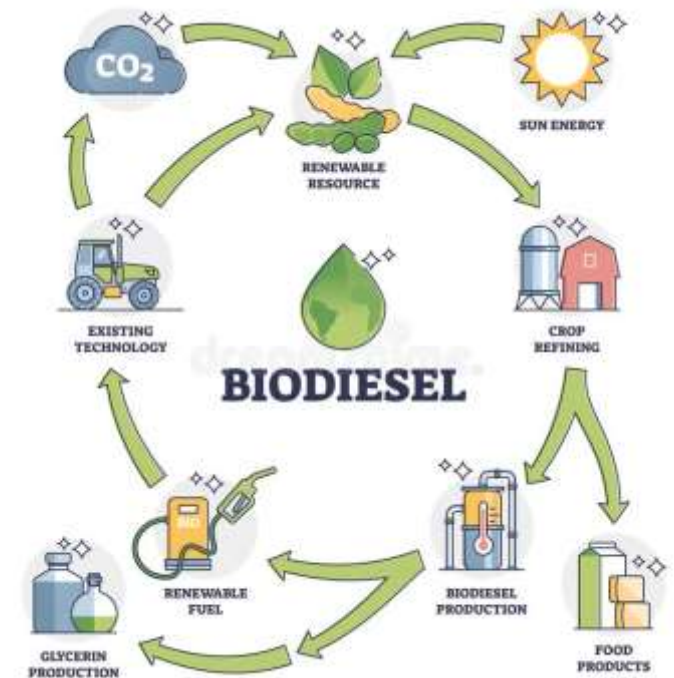
Migliora problemi degli oli vegetali puri: problemi di viscosità, riduzione prestazioni e aumento consumo specifico.

Utilizzo

Il biodiesel comunemente utilizzato nel trasporto su terra ha una densità di energia troppo bassa per l'aviazione.

Il biodiesel di prima generazione potrebbe essere usato per voli commerciali ma non raggiunge gli standard di performance e sicurezza.

Si usano miscele con 5-20% di biodiesel.



Problematiche

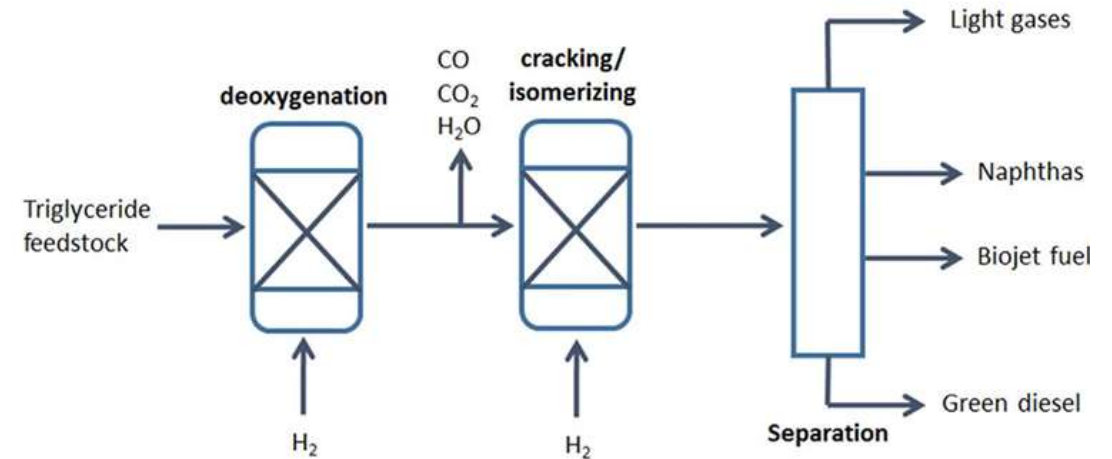
- A contatto con certi materiali;
- Diluizione olio lubrificante;
- Depositi all'iniezione e spray non ottimale a causa della viscosità;
- Diminuzione delle prestazioni;
- Aumento dei consumi
- Biodegradabilità
- Alto punto di congelamento

Emissioni

GTL diesel: cenere diminuisce del 30-60%, NOx diminuiscono fino al 10%.

Gli HEFA sono composti di idrocarburi paraffinici, non contengono composti aromatici o zolfo.

Processo produttivo: successione di idrotrattamento e idroisomerizzazione, a partire da feedstock vari (oli vegetali o di scarto, grassi animali, oli microalgali). I feedstock influenzano la composizione chimica e le proprietà chimico-fisiche del carburante.

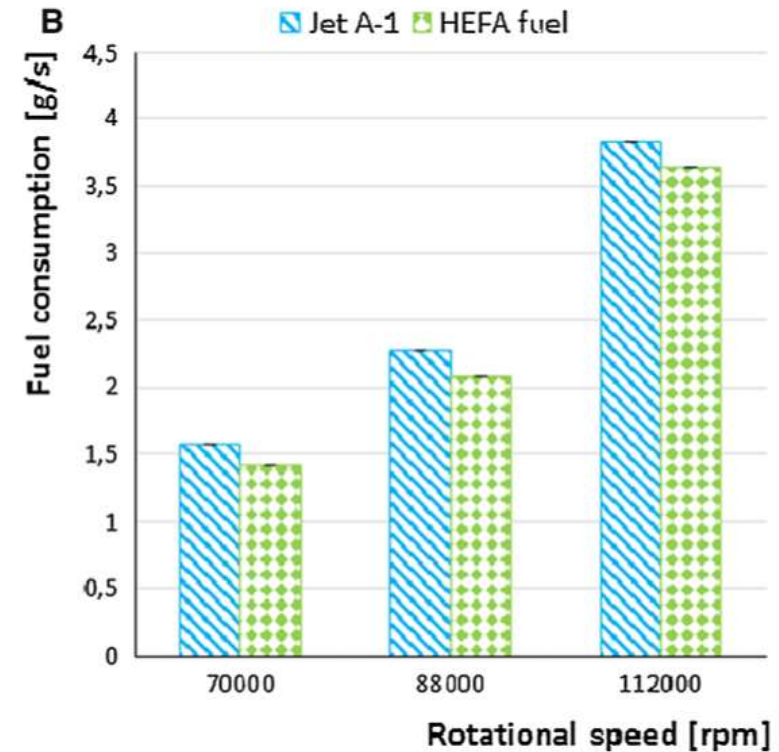
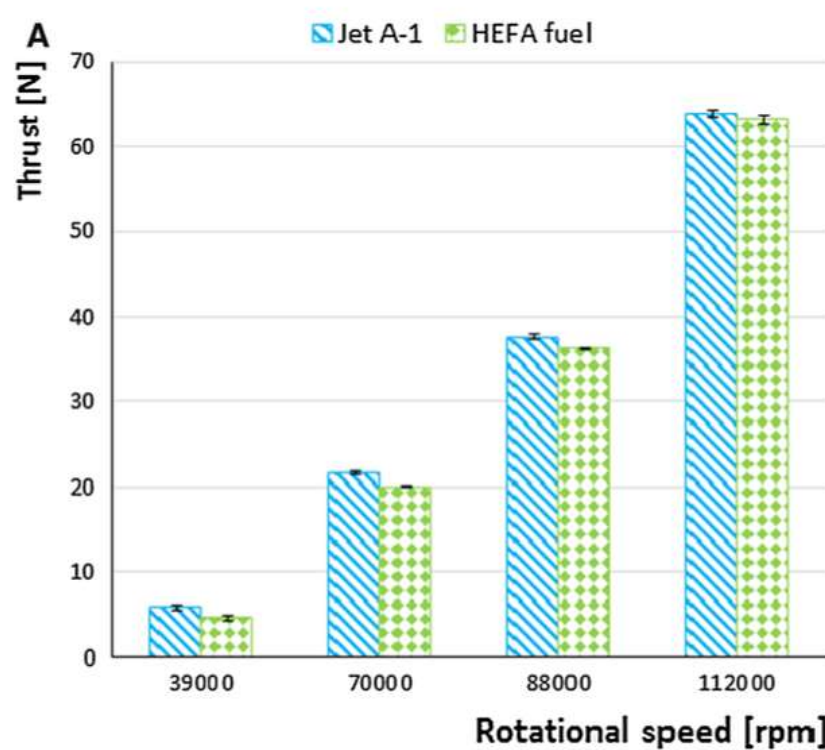


Proprietà

- **Densità** a $15^\circ C$ pari a 779.9 kg/m^3 , vicina al limite minimo.
- **Viscosità** a $-20^\circ C$ pari a $5.004 \text{ mm}^2/\text{s}$ non supera il limite massimo ($8 \text{ mm}^2/\text{s}$) ma è maggiore di quella del Jet A-1 ($2.992 \text{ mm}^2/\text{s}$)
- **Punto di congelamento** aumenta con il numero di C, fortemente dipendente dalla struttura molecolare. Influenzato dal numero di In-paraffine.
- **Punto di infiammabilità** aumenta con C e dipende dalla struttura molecolare. Aumenta all'aumentare del punto di ebollizione. Supera il limite minimo di $38^\circ C$.
- **Calore di combustione** pari a 43.7 MJ/kg supera il limite minimo.

Miscela 48% HEFA – 52% Jet A-1

Minore densità, maggiore calore di combustione rispetto al Jet A-1 puro, maggiore viscosità. Minore tendenza al deposito di carbonio ma maggiori malfunzionamenti delle tenute per il basso contenuto di composti aromatici.

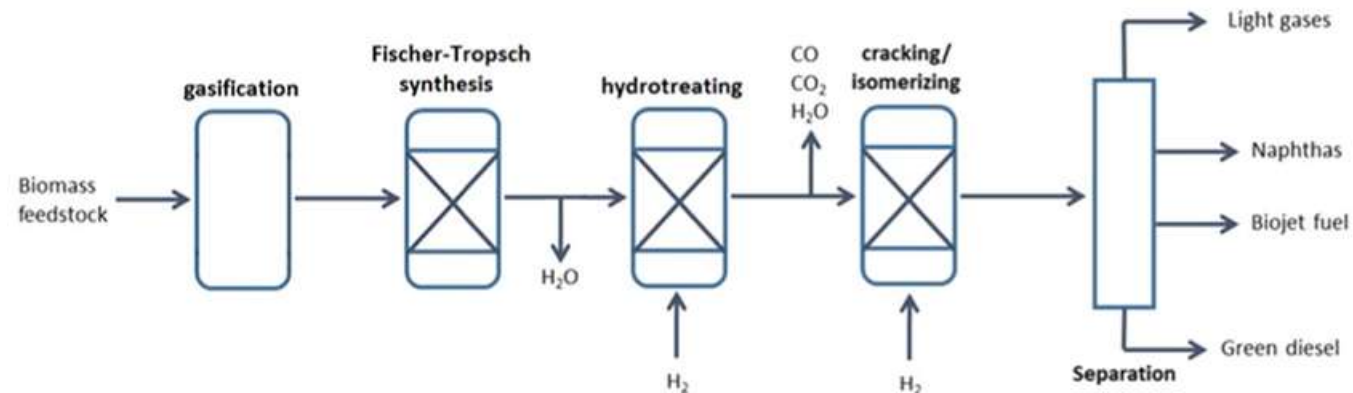


Con HEFA: minore spinta, minori consumi, variazione trascurabile di T4.
Emissioni di CO invariate, emissioni di CO2 e NOx inferiori.

- Fischer-Tropsch synthesis (FTS) → idrocarburi paraffinici → carburanti sintetici
- Il processo ha un efficienza del 25-50%
- Approvata miscela 50% FT fuels e Jet A-1

Test

- All'aumentare della % di SPK l'**avviamento** è più lento per motore caldo, più veloce per motore freddo.
- Nessuna variazione nel **light-off delay**, ovvero l'intervallo tra l'introduzione del carburante nel combustore e l'ignizione.
- Nessuna variazione nell'**accelerazione** del motore.
- Nessuna degradazione del motore.



Vantaggi

- Ridotta formazione di condensa nella scia
- Aumento calore di combustione e diminuzione consumo specifico di carburante

Svantaggi

- Bassa lubricità (per assenza di zolfo, migliora se in miscela)
- Densità e viscosità cinematiche non raggiungono gli standard richiesti
- Assenza composti aromatici, necessari per il corretto funzionamento delle tenute

Emissioni

- Riduzione della cenere, minori emissioni particolate e a base di zolfo (~1.5%).
- Minori emissioni di fumo (~13-30%).
- All'aumentare della % di SPK → aumento emissioni di CO (~5-9%) e di HC (~20-45%), che sono influenzate da temperatura di fiamma e qualità dell'atomizzazione.

Generalmente i biocarburanti apportano un miglioramento dal punto di vista delle emissioni, con la riduzione di cenere, NO_x, CO₂.

Non sono state trovate evidenze significative sull'usura dei motori alimentati con biocarburanti, ad eccezione di un peggioramento dell'efficienza delle tenute nel caso di assenza di composti aromatici.

L'utilizzo di miscele non provoca variazioni prestazionali sostanziali rispetto ai combustibili tradizionali.

Grazie per l'attenzione

1. *Sustainable alternative fuels in aviation*, Nadir Yilmaz, Alpaslan Atmanli
2. *A review on the production processes of renewable jet fuel*, C. Gutiérrez-Antonio, F.I. Gomez-Castro, J.A. de Lira-Flores, S.Hernandez
3. *A review on the production processes of renewable jet fuel*, Wei-ChengWanga, LingTao
4. *Technical review on jet fuel production*, Guangrui Liua, Beibei Yanb, Guanyi Chen
5. *Evaluation of suitable mixture proportion compatibility of aviation fuel Jet A-1 blended with butanol isomers*, Shu-Yao Tsai, Jia-Wei Su, Jing-Ting Tong, Chun-Ping Lin
6. *Aviation gas turbine alternative fuels: a review*, Simon Blakey, Lucas Rye, Christopher William Wilson
7. *Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review*, B. Rajesh Kumar, S. Saravanan
8. *Effects of Chemical Compositions and Cetane Number of Fischer-Tropsch Fuels on Diesel Engine Performance*, Haoyu Yuan, Takuma Tsukuda, Yurui Yang, Gen Shibata, Yoshimitsu Kobashi, Hideyuki Ogawa
9. *Impact of a Jet A-1/HEFA blend on the performance and emission characteristics of a miniature turbojet engine*, B. Gawron, T. Białecki
10. *Combustion and Emissions Characteristics of the Turbine Engine Fueled with HEFA Blends from Different Feedstocks*, Bartosz Gawron, Tomasz Białecki, Anna Janicka, Tomasz Suchocki
11. *Impact of Alternative Fuels on Engine Performance and CO2 Emissions*, F. Wolters, R.-G. Becker, M. Schaefer
12. *Sustainable Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (BioSPK) Jet Fuel Flights and Engine Tests Program Results*, Timothy F. Rahmes, James D. Kinder, and T. Michael Henry, Grant Crenfeldt, Gary F. LeDuc and George P. Zombanakis, Yasunori Abe, Dave M. Lambert and Chris Lewis, Jerome A. Juenger, M. Gurhan Andac, Kevin R. Reilly, Jennifer R. Holmgren, Michael J. McCall, and Andrea G. Bozzano
13. *Assessment of the Operational Performance of Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene in a T63 Gas Turbine Compared to Conventional Jet A-1 Fuel*, Nigel Bester and Andy Yates
14. *Assessment of combustion properties of non-hydroprocessed Fischer-Tropsch fuels for aviation*, Sophie Jürgensa, Patrick Oßwalda, Manuel Selinsekb, Paolo Piermartinib, Johannes Schwabb, Peter Pfeifer, Uwe Baudera, Stephan Ruoffa, Bastian Raucha, Markus Köhler
15. *I Biocarburanti: Le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione*, Vanja Cencič, Roberto Jodice, Daniela Migliardi, Denis Picco, Michela Pin, Elisa Tomasinsig, Giulia Zanotto, Robert Radu, Rodolfo Taccani, Sirinuch Chindaruksa, Stefano Barbieri, Davide Bianco, Giuseppe Michelutti, Barbara Monaco
16. <https://www.dreamstime.com/> per le immagini delle slide 2/12 e 6/12