Processi di produzione dei SAF

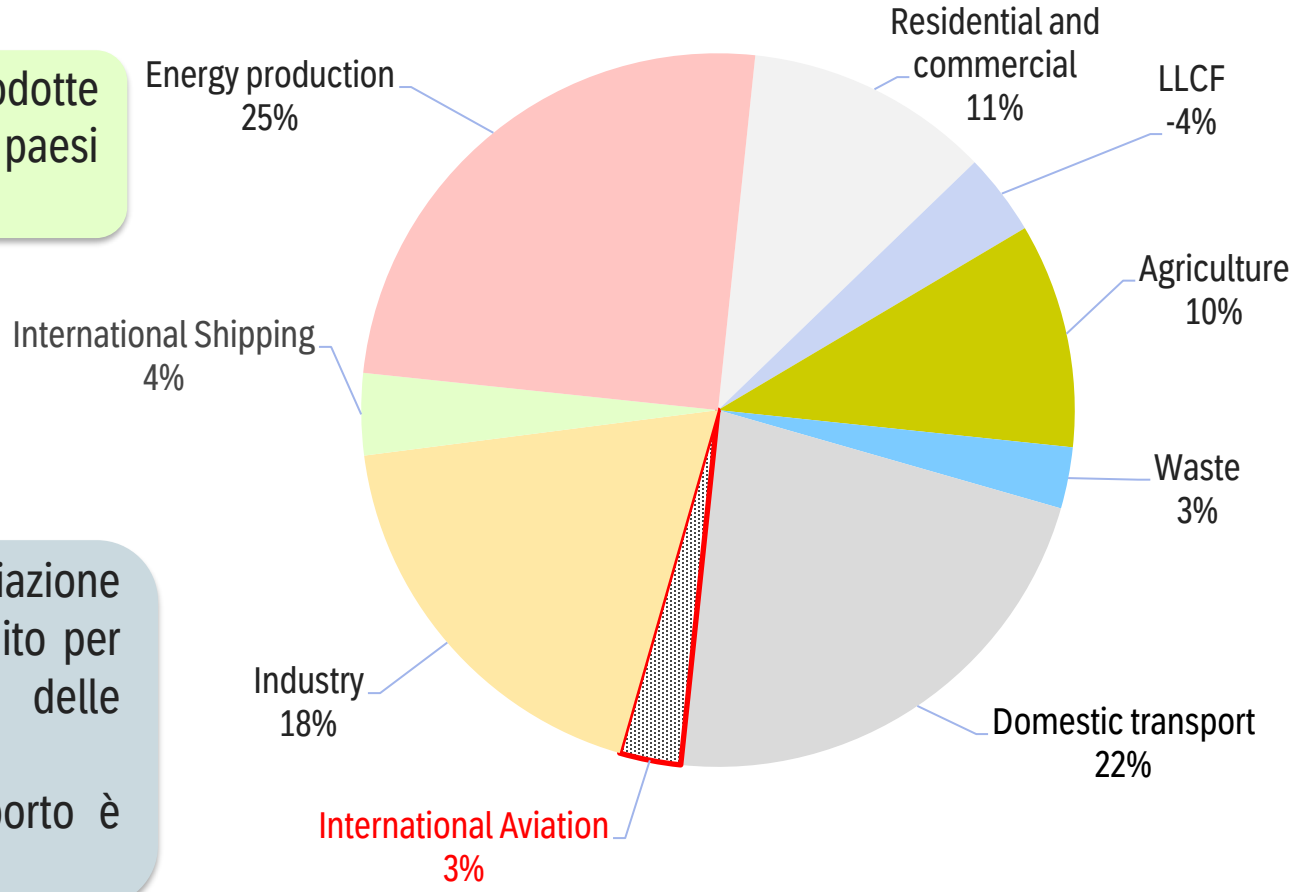
Andrea Francescangeli

Kuwait Petroleum Italia S.p.A.
Direzione Renewable Energy & Supply Chain

Rivoli, 09 Aprile 2025

Emissioni UE CO_2

Nel 2022, sono state prodotte circa 3,1 Gtons di CO_2 nei paesi dell'UE

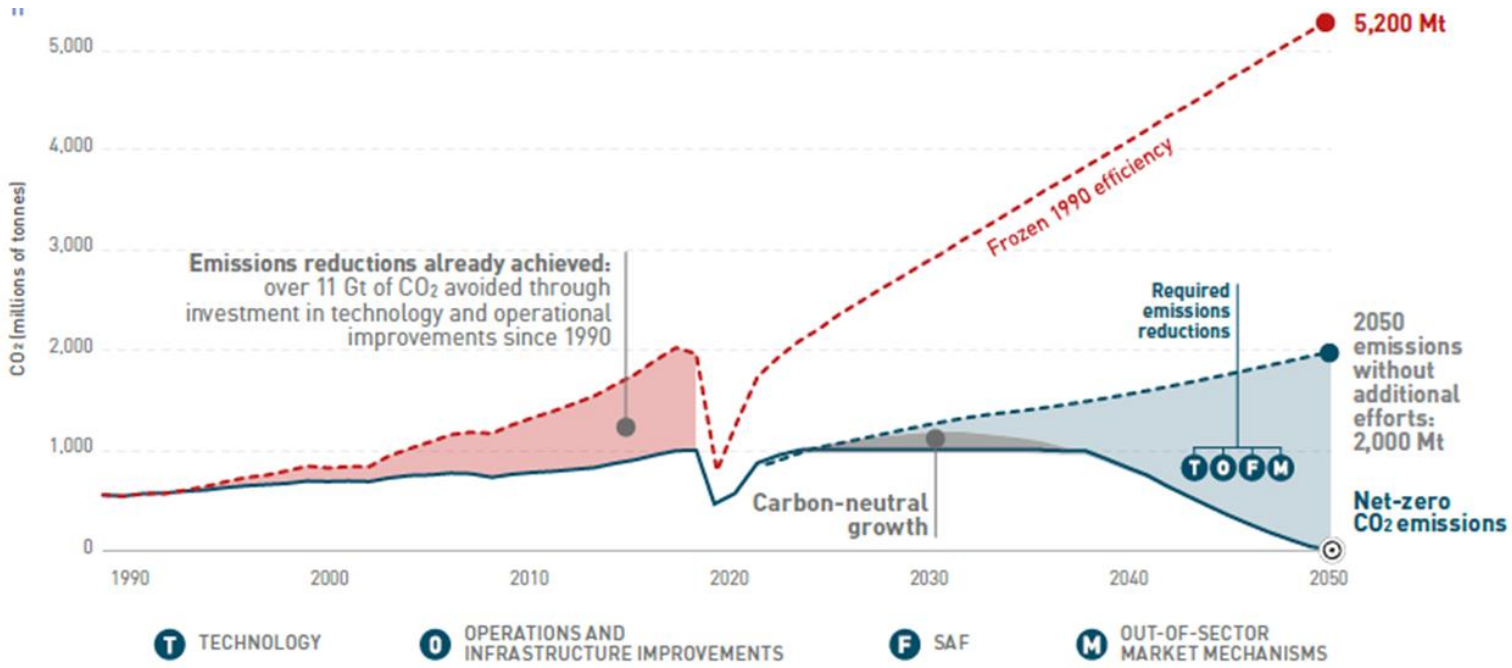


Il settore dell'aviazione (internazionale) ha contribuito per circa il 3 % sul totale delle emissioni UE.
A livello mondiale il rapporto è molto simile (circa 2,5 %)

Source: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

La Decarbonizzazione del settore aereo

Nell'ottobre 2022, i governi riuniti in occasione dell'Assemblea dell'ICAO a Montreal hanno adottato un obiettivo di azzeramento a lungo termine (2050) delle emissioni di CO_2 per i voli internazionali



INNOVATION FOR A GREEN TRANSITION – 2022 environmental report - ICAO

Il CORSIA

Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

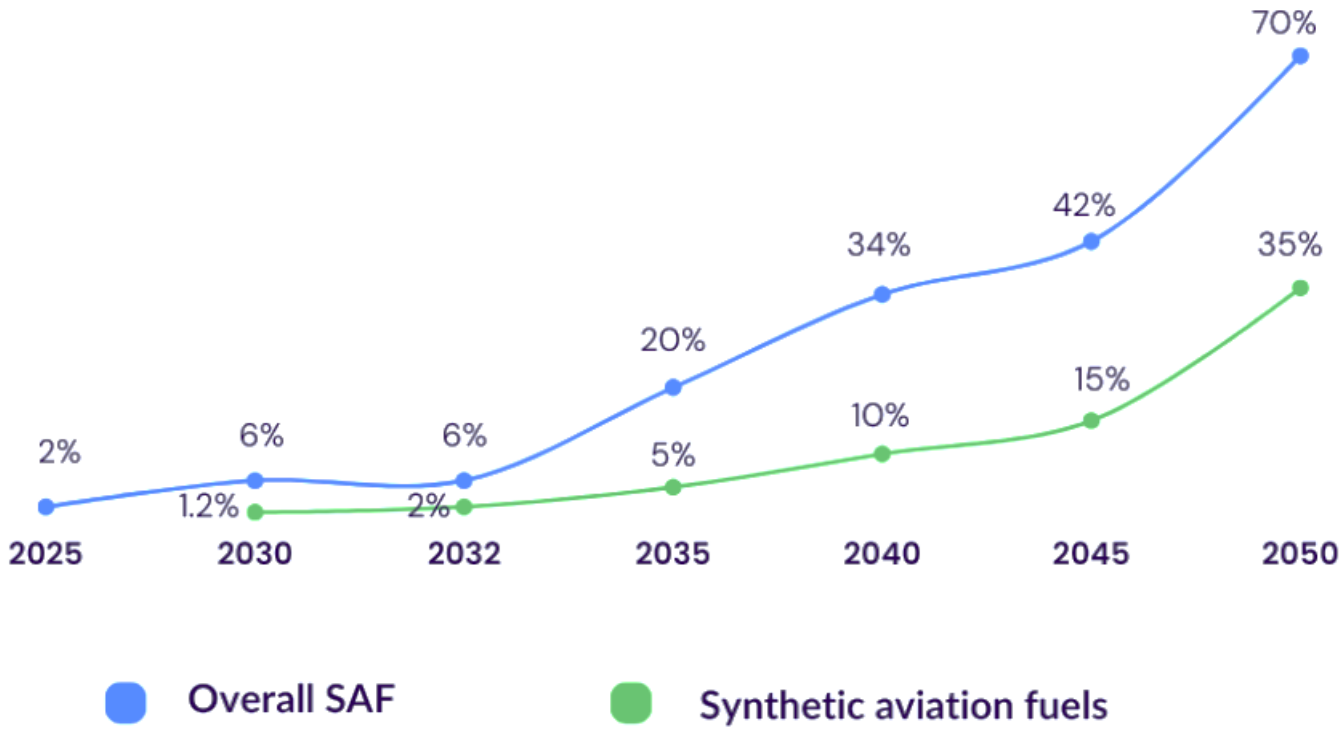
Il **CORSIA** (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) è un programma internazionale approvato dall'ICAO (Organizzazione Internazionale per l'Aviazione Civile) che mira a stabilizzare le emissioni di CO_2 ai livelli del 2020 richiedendo alle compagnie aeree di compensare la crescita delle loro emissioni dopo tale data.

Le emissioni che si chiede di compensare sono quelle contemplate dall'accordo di Parigi, ovvero i voli internazionali.

European aviation environmental report 2019; RSB – alternative aviation fuels

ReFuelEU Aviation Targets

REGOLAMENTO (UE) 2023/2405 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 18 ottobre 2023
sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile (ReFuelEU Aviation)



SAF = Sustainable Aviation Fuels

I SAF – Sustainable Aviation Fuels

SAF

- **Biocarburanti**
  - *Tradizionali*
    - Carburanti da colture alimentari, oli alimentari esausti (UCO), grassi animali
    - FAME, HVO, HEFA (SAF), Etanolo
  - *Avanzati*
    - Carburanti da rifiuti e residui
    - FAME, HVO, HEFA (SAF), Etanolo
- **Recycled Carbon Fuels** (RCFs)
  - Carburanti da rifiuti di origine non rinnovabile (gas di scarico industriali, rifiuti di plastica)
  - Idrogeno, Metanolo, Etanolo, Metano
- **Renewable fuels of non-biological origin** (RFNBOs)
  - Carburanti da fonti rinnovabili diverse dalle biomasse (anidride carbonica e idrogeno verde)
  - Idrogeno, Metanolo, Etanolo, Metano, Carburanti Sintetitici

Min 65 %

Min 70 %

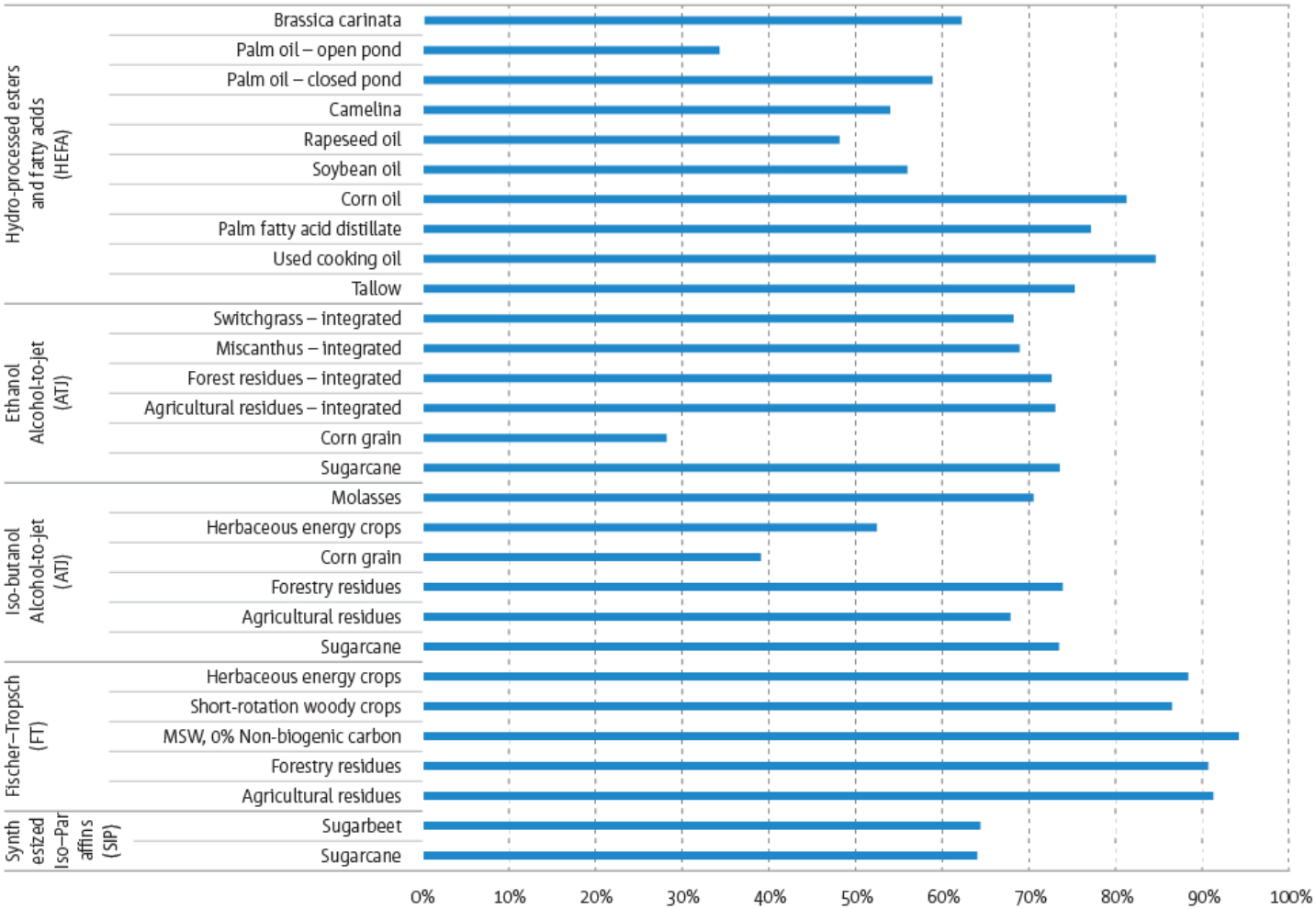
Mandatory GHG reduction

Carburanti a bassa impronta carbonica nel settore aereo

GHG saving associato all'utilizzo di CEF (Corsia Eligible Fuels) - CORSIA
10%

GHG saving associato all'utilizzo di SAF - ReFuel Aviation
Biocarburanti: 50 % - 60 % - 65 %
RCF (Recycled Carbon Fuels – Carburanti da Carbonio Riciclicato): 70 %
RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin – Carburanti sintetici): 70 %

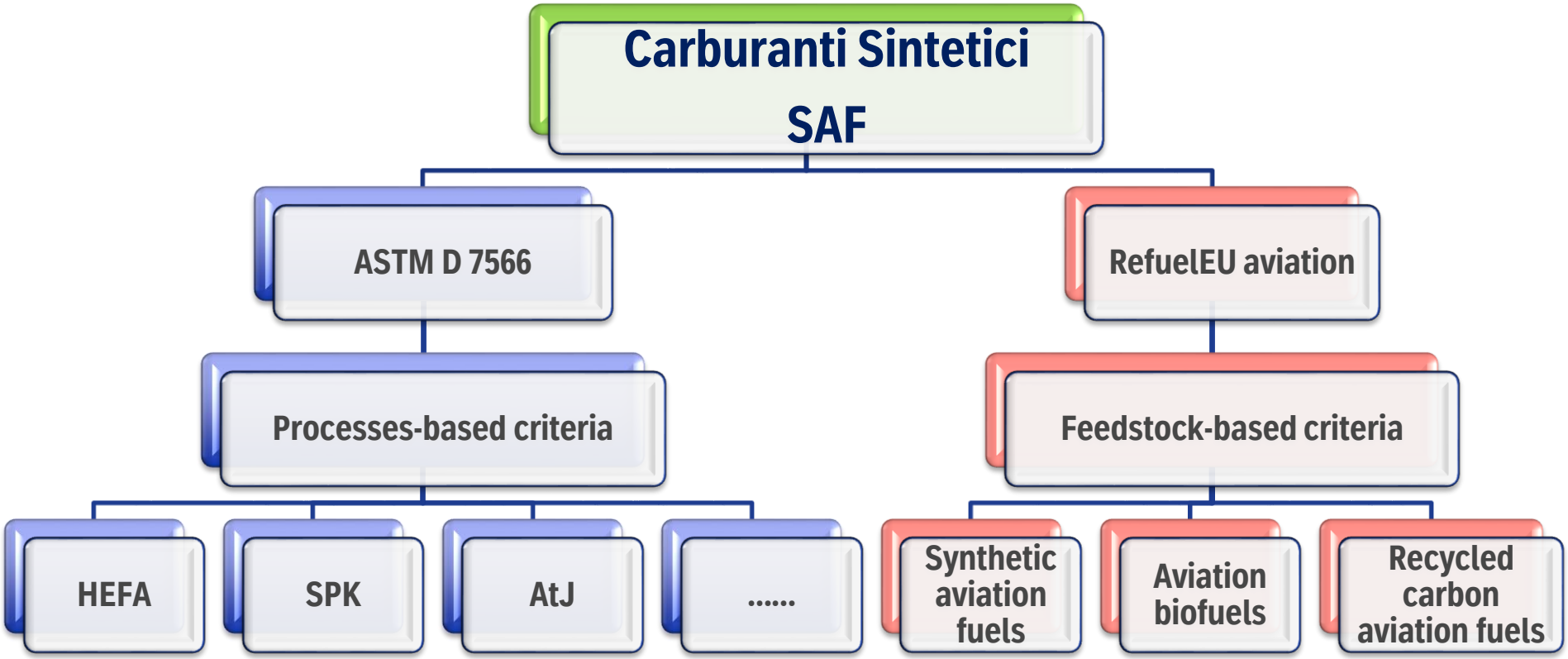
LCA emissions reductions



Jet fuel reference value (Well-to-Wake)
89 g CO_2/MJ

Source: https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/figures-and-tables

Nomenclatura SAF



Norme di riferimento

ASTM D1655

- standard che definisce i requisiti minimi per il Jet A1, elenca gli additivi accettabili per l'uso in motori aerei, e regola il co-feeding di alcuni prodotti

DEF STAN 91-091

- standard che definisce i requisiti minimi per il Jet A1, elenca gli additivi accettabili per l'uso in motori aerei, e regola il co-feeding di alcuni prodotti

ASTM D4054

- standard che definisce le procedure per raccogliere dati da utilizzare per la revisione di prodotti in uso o per l'emissione di specifiche per nuovi carburanti per aerei, o per l'approvazione di nuovi additivi

ASTM D7566

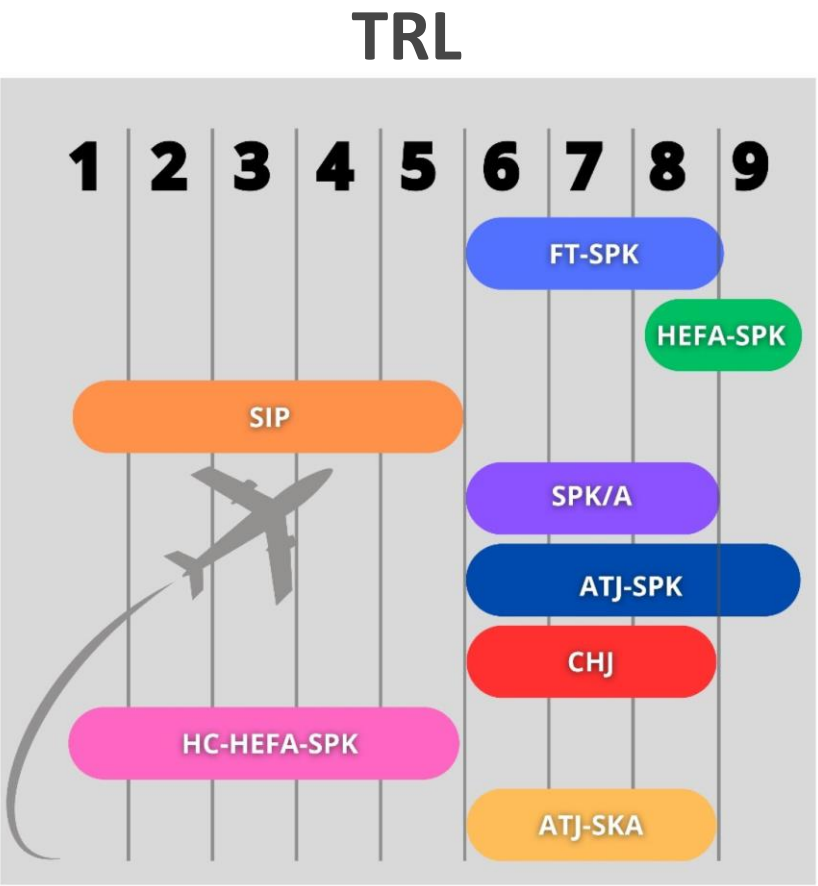
- standard che definisce le specifiche dei carburanti sintetici indicando la % massima di utilizzo, e la specifica del blending finale

Aviation Fuel Quality Requirements for Joint Operations Systems (AFQRJOS) Checklist

Processi di produzione approvati per SAF

Process	Date of Approval	Blending wall	Feedstock
Fischer – Tropsch Synthetic Paraffin Kerosene (FT-SPK) **Fischer – Tropsch Synthetic Paraffin Kerosene with Aromatics (FT-SPK/A)**	2009, 2015	Up to 50%	Biomasse (MSW, agricultural & forestry residues, etc.)
Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA-SPK)	2011	Up to 50%	Waste FOGs, oil-bearing biomass, etc.
Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins (HFS-SIP)	2014	Up to 10%	Microbial conversion of sugars to hydrocarbon
Alcohol to Jet Synthetic Paraffin Kerosene (ATJ-SPK)	2016; 2018; 2023	Up to 50%	Ethanol, Isobuthanol, Isobutylene
Catalytitc hydrothermolysis synthesized kerosene (CH-SK or CHJ)	2020	Up to 50%	Triglyceride-based feedstocks (plant oils, waste oils, soybean oil, etc.)
Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters and Fatty Acids (HC-HEFA-SPK)	2020	Up to 10%	Bio-derived lipids hydrocarbons (tri-terpenes) from *Botryococcus braunii*
Alcohol to Jet Synthetic Kerosene with Aromatics (ATJ-SKA)	2023	Up to 50%	Any C2-C5 alcohols (individually or combined) can be used to produce jet fuel, but the aromatic and non aromatic components must be produced in separate pathways.
FOG Co-Processing	2018	Up to 5 % (15 %)	FOGs (Fat, Oil, Grease)
FT Co-Processing	2020	Up to 5 %	FT biocrude
HEFA Co-Processing	2023	Up to 10 %	HEFA

Processi di produzione approvati per SAF

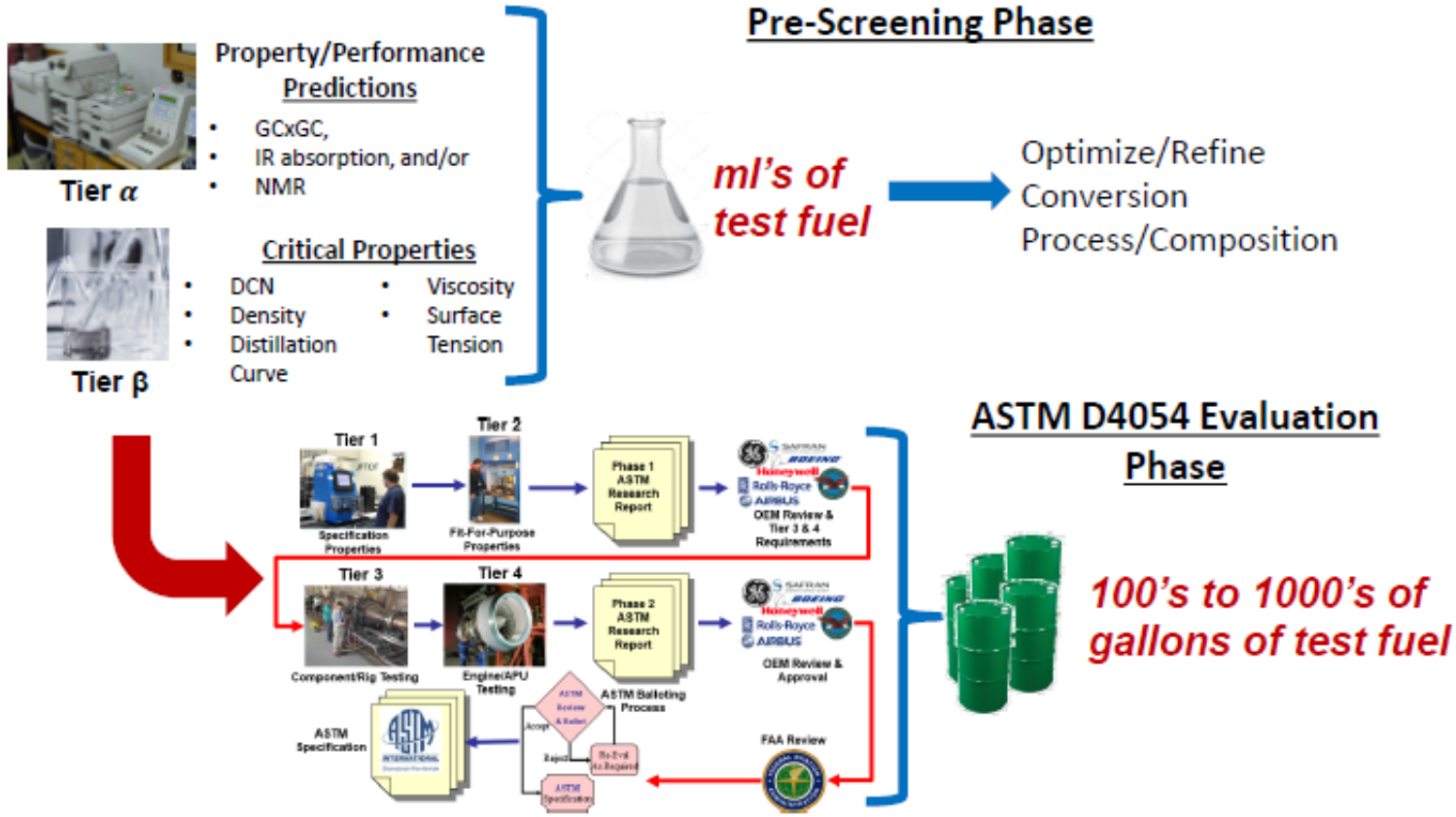


https://www.mdpi.com/sustainability/sustainability-17-01584/article_deploy/html/images/sustainability-17-01584-g001.png

Ulteriori processi sono in fase di studio/approvazione, quali:

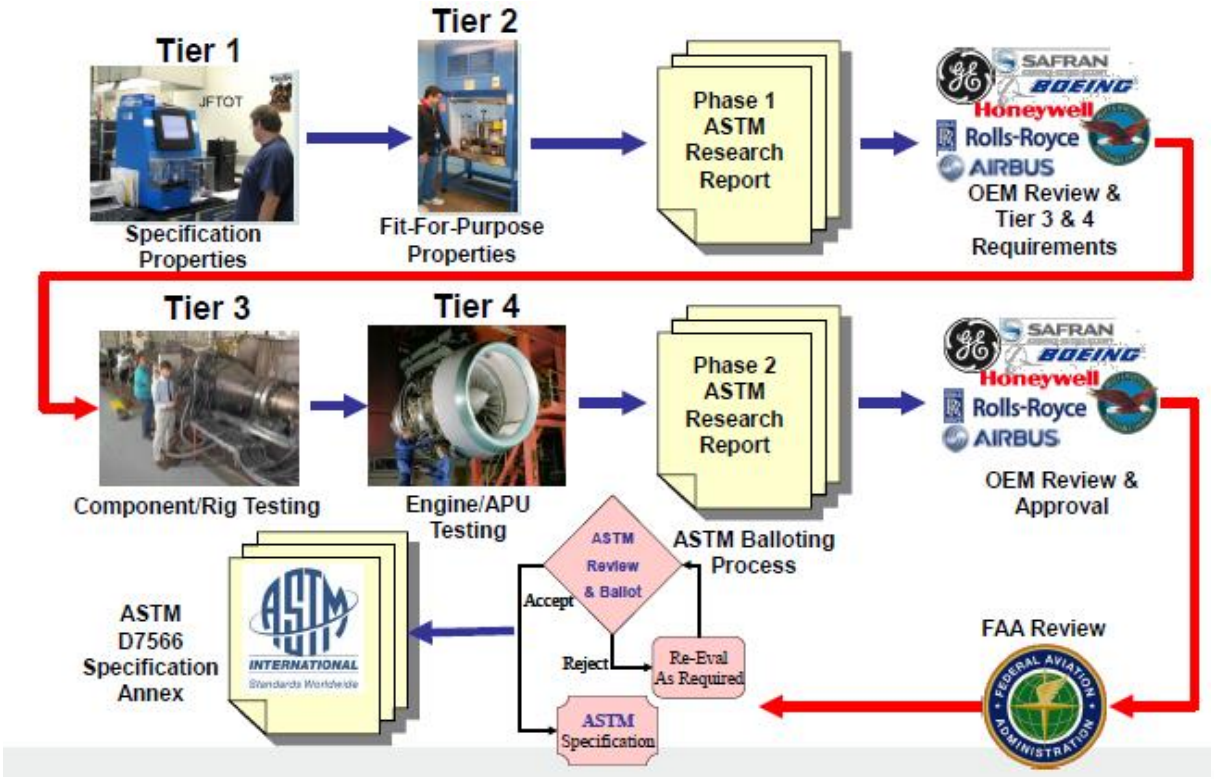
- Incremento del co-processing di strutture lipidiche al 30 %
- methanol-to-jet
- synthetic aromatic kerosene, SAK
- co-processing di olio di pirolisi da pneumatici esausti

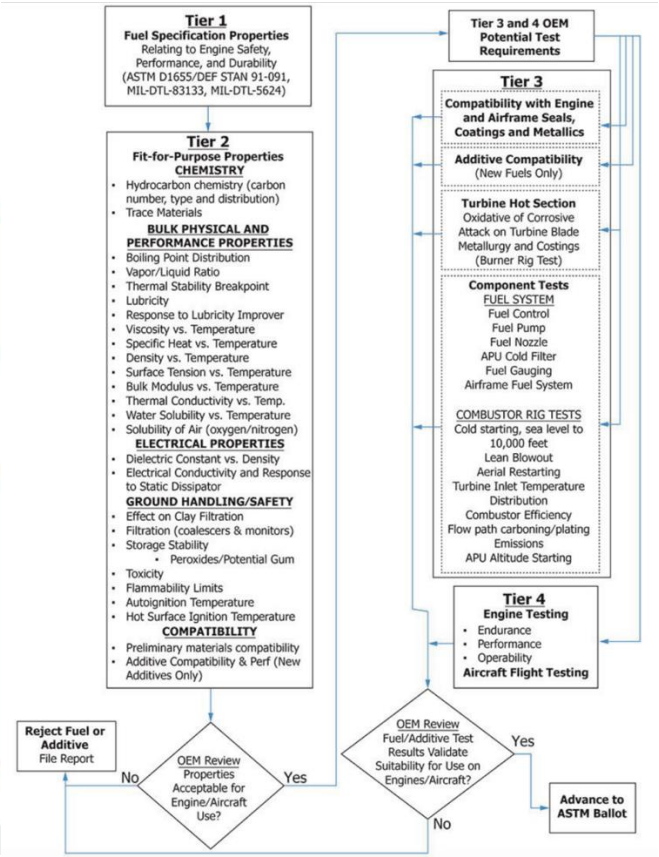
Processo di approvazione dei SAF



https://www.caafi.org/_files/ugd/c52adb_86536e91f20a434d9561f991d4cb7cd0.pdf

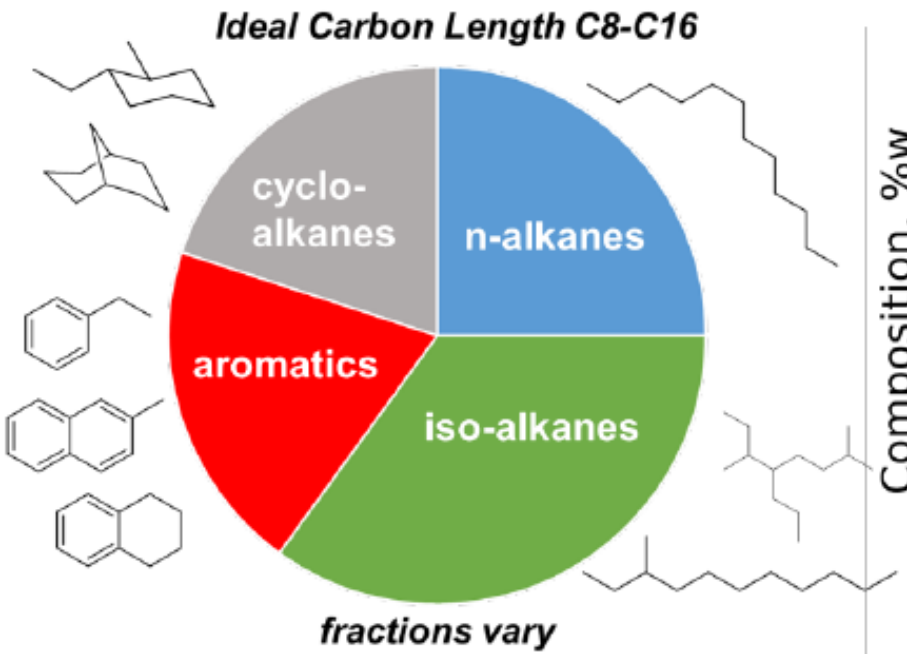
Processo di approvazione dei SAF – ASTM D4054

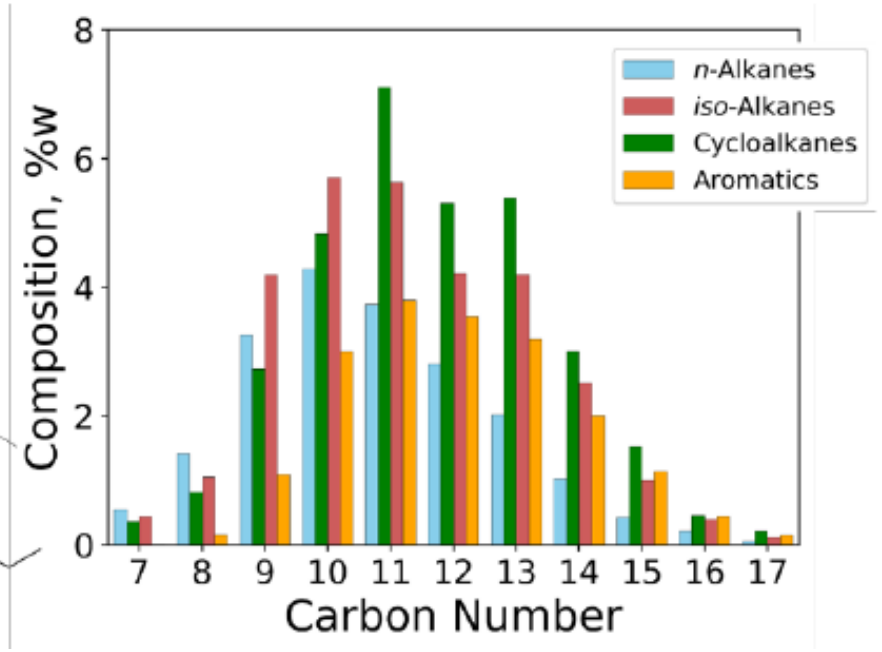




https://www.caafi.org/_files/ugd/c52adb_86536e91f20a434d9561f991d4cb7cd0.pdf

Composizione JET A1





https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/09/f78/beto-sust-aviation-fuel-sep-2020.pdf

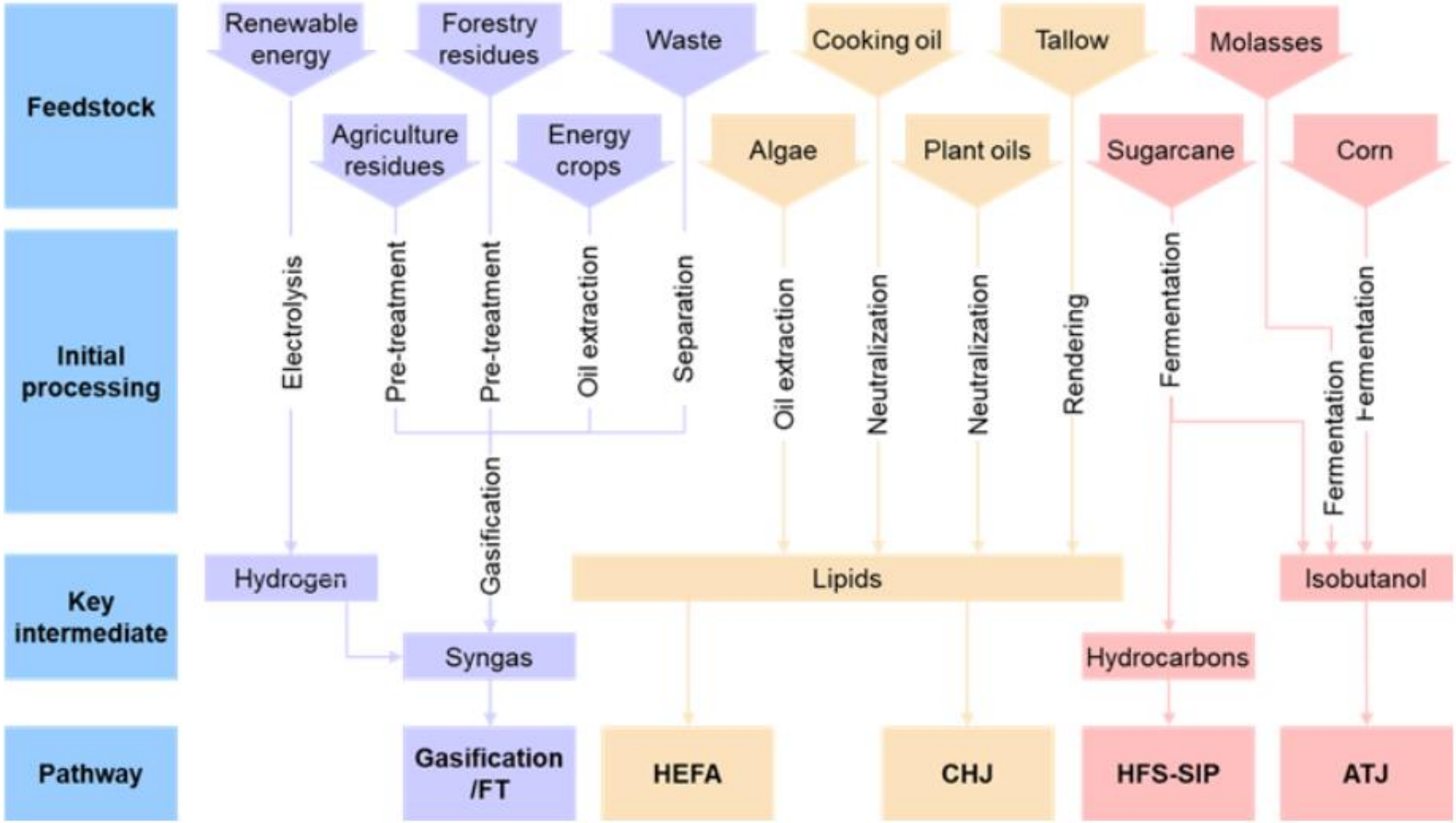
Le proprietà del carburante per aerei devono essere tenute rigorosamente sotto controllo, e quindi anche la sua composizione!!

SAF blending wall

SAF	FT-SPK	HEFA - SPK	SIP	FT-SPK/A	ATJ-SPK	CHJ	HC-HEFA-SPK
Aromatici	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
n-paraffine	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
isoparaffine	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cicloparaffine	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Necessità Blending wall	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
Blending wall	50 %	50 %	10 %	50 %	50 %	50 %	10 %
Annex ASTM D 7566	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7

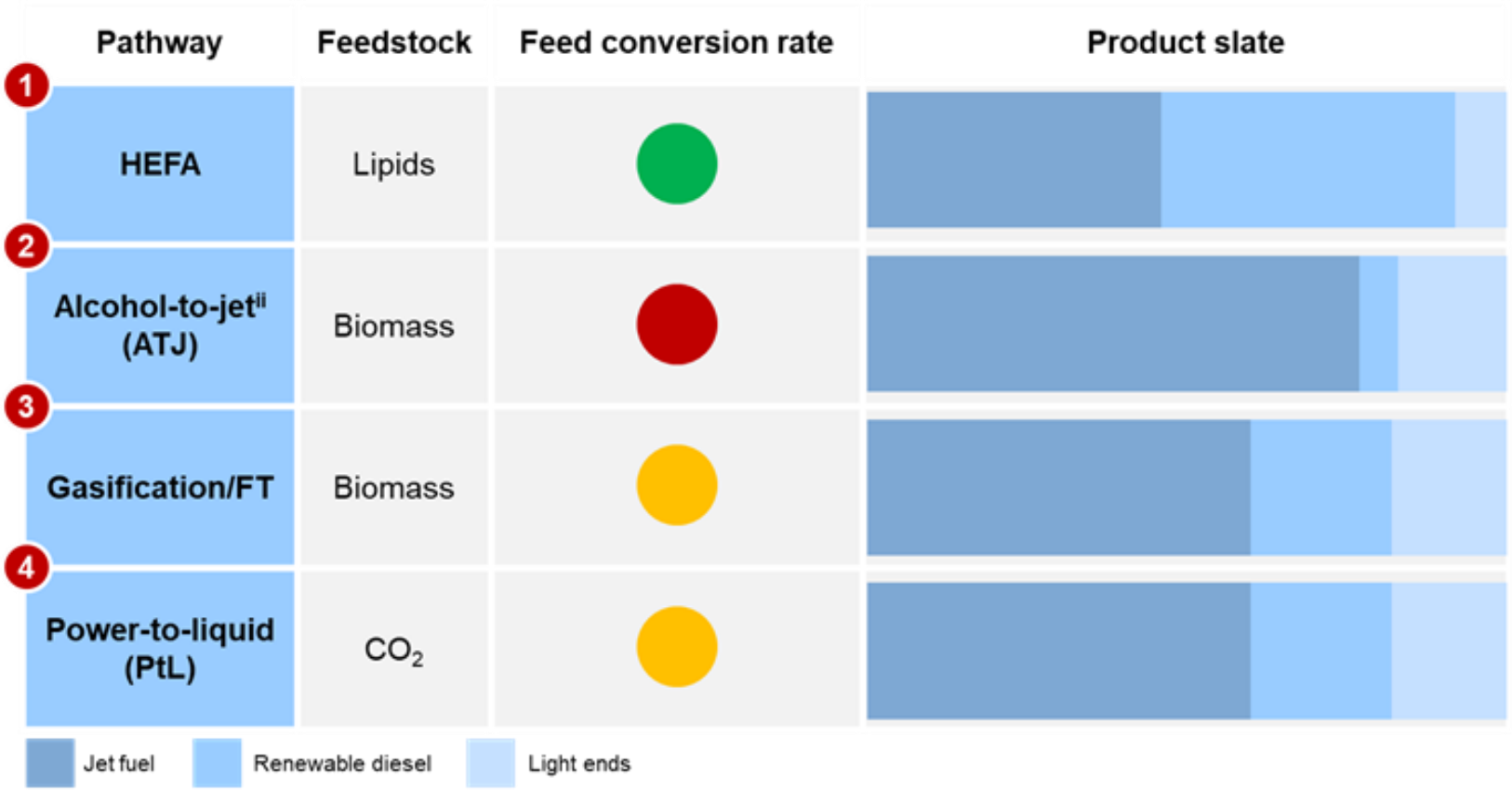
Per i SAF FT-SPK/A e CHJ l'introduzione di un blending wall rappresenta una scelta conservativa

Overview processi di produzione dei SAF



https://adi-analytics.com/2022/10/05/greener-skies-part-ii-a-jet-fuel-and-sustainable-aviation-fuel-market-outlook/

Overview processi di produzione dei SAF



https://adi-analytics.com/2022/10/05/greener-skies-part-ii-a-jet-fuel-and-sustainable-aviation-fuel-market-outlook/

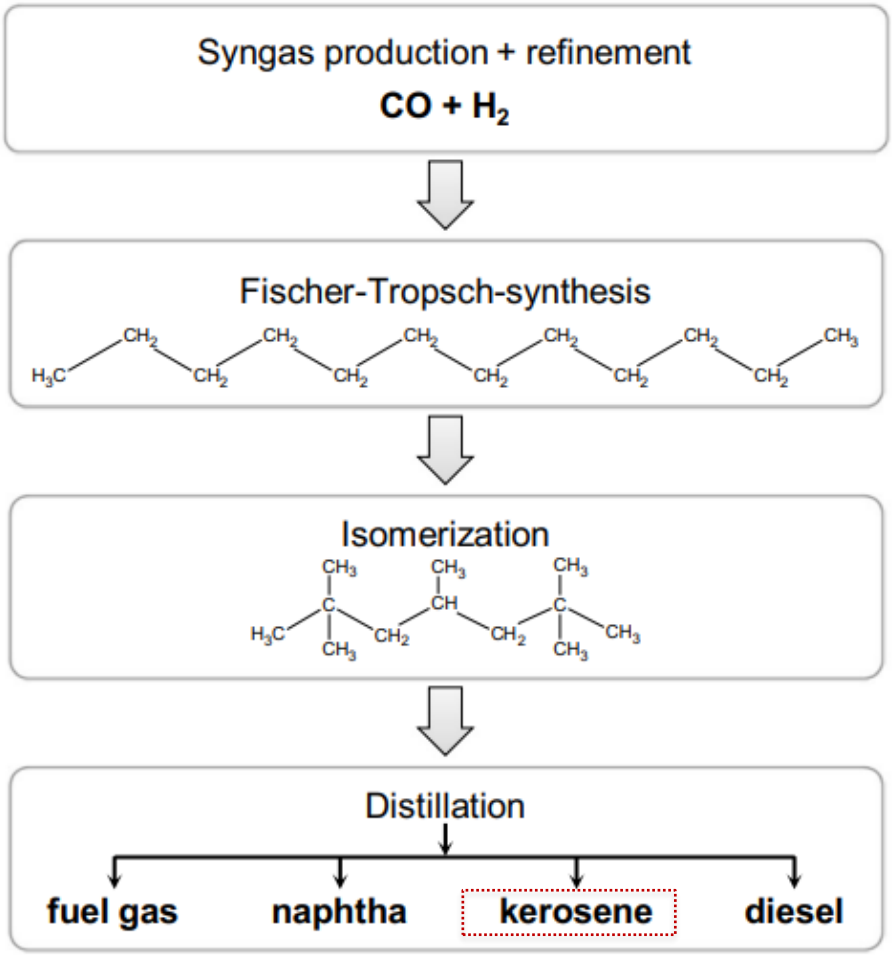
In tutti i processi, oltre al SAF si ottengono altri prodotti, con caratteristiche assimilabili a quelle di gasolio, GPL, ecc.

FT-SPK

Fischer-Tropsch (FT)

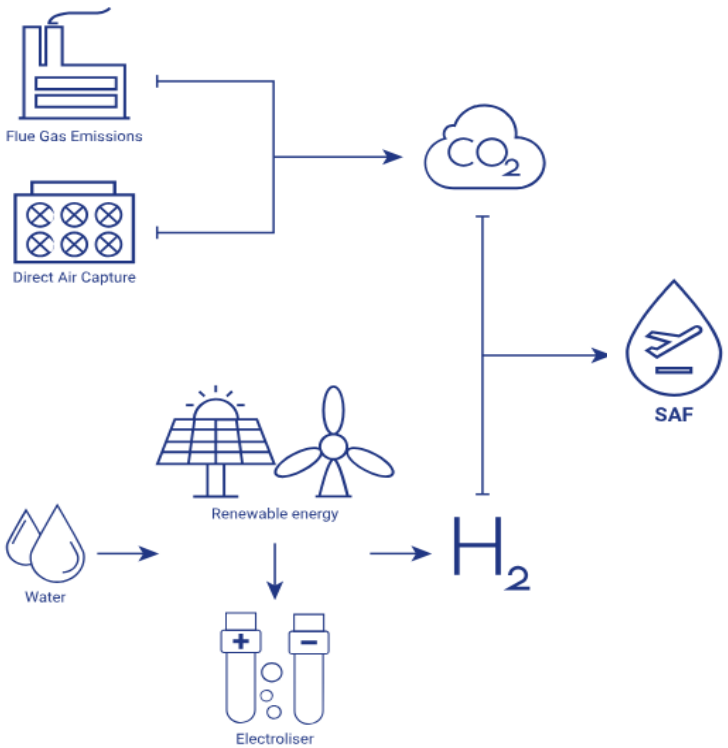
Il processo FT permette di convertire il gas di sintesi (syngas), miscela di CO e H_2, in diversi prodotti, idrocarburi e non, tra cui i SAF.
Ad oggi sono stati certificati due diversi processi FT, uno che produce un carburante per jet paraffinico (SPK) e uno che permette di aggiungere anche composti aromatici (SPK/A), ottenuti per alchilazione di aromatici «leggeri» da fonti non fossili.
Il rapporto di miscelazione massimo per entrambe le opzioni è del **50** %.

ASTM spec for SPK: D7566 – Annex 1 ;
ASTM spec for SPK/A: D7566 – Annex 4.



https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-018-0296-1

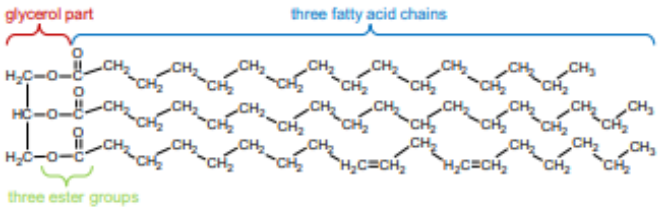
FT: e-Kerosene

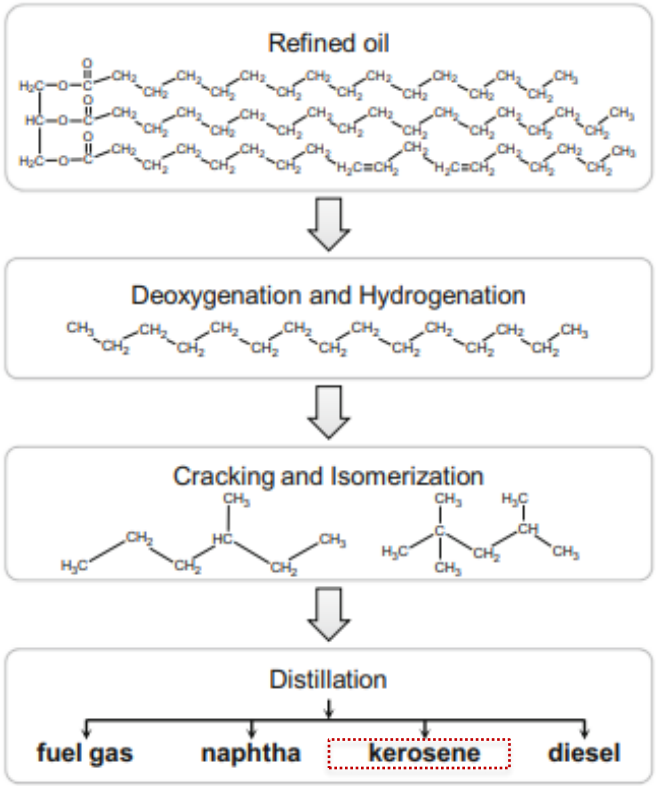


E-Kerosene

Chiamato anche cherosene sintetico o combustibile Power-to-Liquid (PtL)) è prodotto combinando H_2 e CO_2. Di fatto è un processo FT, in cui si utilizza idrogeno prodotto tramite elettrolisi con energia elettrica rinnovabile (il cosiddetto "idrogeno verde") e anidride carbonica catturata dall'aria ambiente (cattura diretta dell'aria – DAC o da specifici punti di cattura) per produrre il syngas.

HEFA





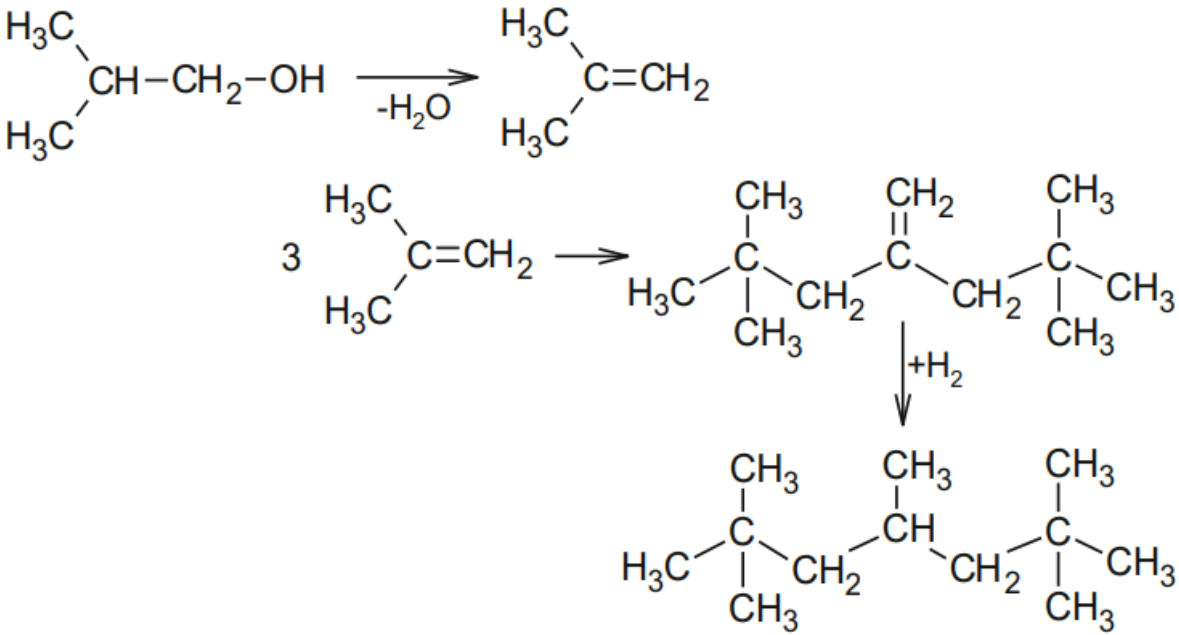
https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-018-0296-1

Hydrotreated Esters and Fatty Acids (HEFA)

Processo in cui oli vegetali, oli esausti (di cucina) o grassi vengono convertiti in SAF tramite un processo di idrogenazione.
Nella prima fase del processo , l'ossigeno viene rimosso tramite idrodeossigenazione. Successivamente, le molecole paraffiniche lineari subiscono un processo di cracking e di isomerizzazione, per arrivare un prodotto finale più simile possibile al jet fuel. Il processo HEFA è del tutto simile a quello utilizzato per la produzione di Renewable Diesel, HVO, differendo solo nella distribuzione degli idrocarburi nello stream finale.
Il rapporto di miscelazione massimo è del **50**%.

ASTM spec: D7566 – Annex 2.

AtJ



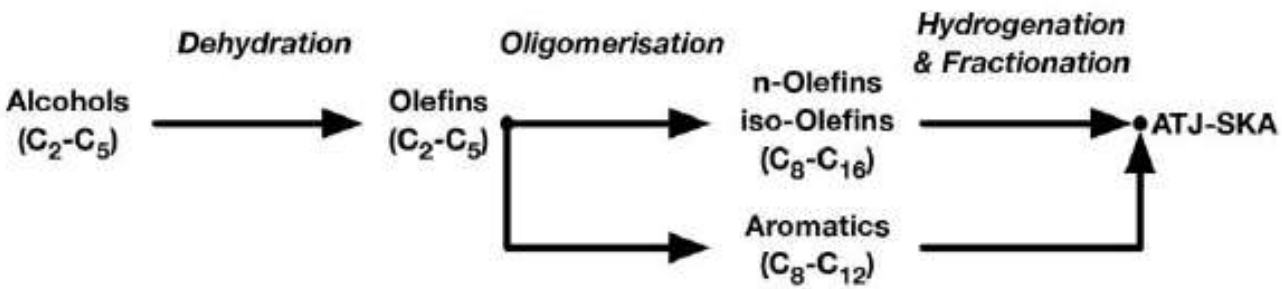
https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-018-0296-1

Alcohol to Jet (AtJ)

Processo che converte gli alcool in SAF, tramite rimozione di ossigeno e successiva oligomerizzazione. Attualmente, tre sono le materie prime approvate per l'uso nella tecnologia AtJ: etanolo, isobutanolo e isbutilene. La fonte dell'alcol non viene specificata.
Il rapporto di miscelazione massimo è del **50**%.

ASTM spec: D7566-4 – Annex 5.

AtJ - SKA



https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/06/IEA-Bioenergy-Task-39-SAF-report.pdf

Alcohol to Jet Synthetic Kerosene with Aromatics
(ATJ-SKA)

Processo svedese che può utilizzare qualsiasi alcol C_2-C_5 (etanolo, propanolo, butanolo, pentanolo). Nella prima fase del processo, i singoli alcol o le loro miscele vengono disidratati in una miscela delle olefine corrispondenti, che vengono, nelle fasi successive, oligomerizzate in olefine superiori. Le olefine superiori vengono quindi condensate in composti insaturi superiori utilizzando due flussi di processo, uno che produce n-olefine e iso-olefine, l'altro che produce aromatici.
Segue idrogenazione, frazionamento e blending.
Il rapporto di miscelazione massimo è del **50**%.

ASTM spec: D7566-4 – Annex 8.

HC-HEFA - SPK

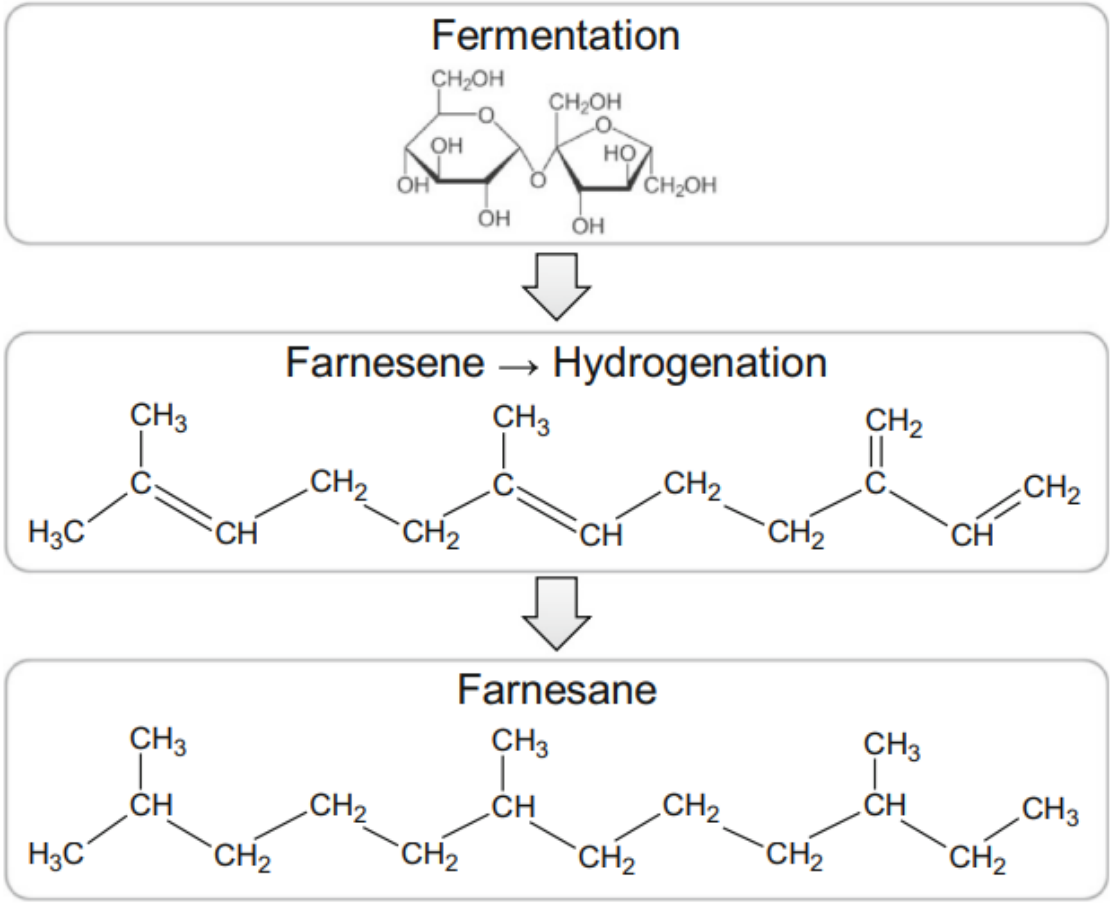
https://www.ihi.co.jp/en/all_news/2021/other/1197475_3370.html

Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters and Fatty Acids (HC-HEFA-SPK)

Idrocarburi bio-derivati, acidi grassi liberi e gli esteri degli acidi grassi vengono convertiti nel processo HC-HEFA-SPK in modo simile al processo HEFA: idrogenazione e idrodeossigenazione per saturare le molecole di idrocarburi e rimuovere l'ossigeno. Una fonte biologica riconosciuta è la specie di alghe *Botryococcus braunii.*
Il rapporto di miscelazione massimo è del **10**%.

ASTM spec: D7566 – Annex 7.

SIP



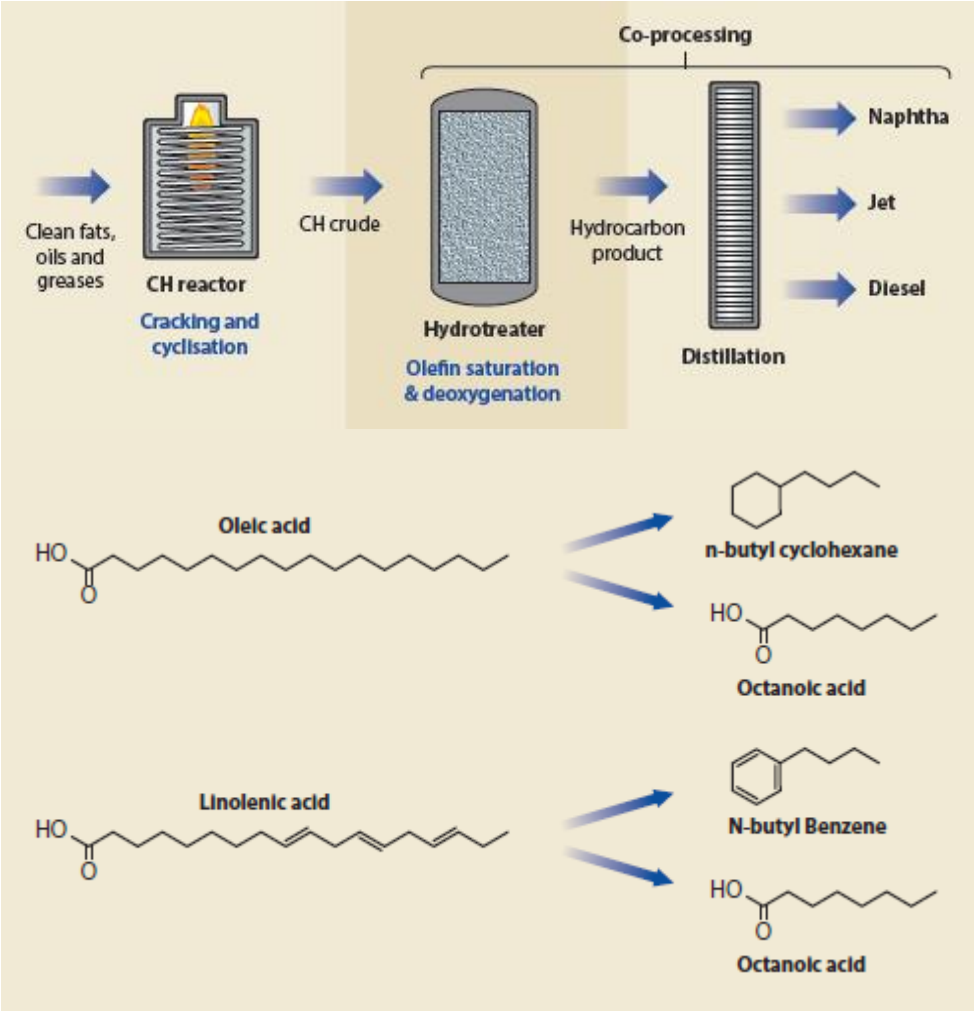
https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-018-0296-1

Synthesized Iso-Paraffins (SIP)

Processo biologico in cui i microrganismi convertono gli zuccheri C6 in farnesene, che dopo il trattamento con idrogeno può essere utilizzato come SAF.
Il rapporto di miscelazione massimo è del **10**%.

ASTM spec: D7566 – Annex 3.

CHJ



https://www.digitalrefining.com/article/1002632/delivering-drop-in-renewable-fuels

Catalytic Hydrothermolysis (CHJ)

Processo che converte gli esteri degli acidi grassi e gli acidi grassi liberi in SAF tramite idrotermolisi catalitica seguita da una combinazione di idrogenazione, idrocracking e idroisomerizzazione, con successivo frazionamento.
Il rapporto di miscelazione massimo è del **50**%.

ASTM spec: D7566 – Annex 6.

Co-processing

Oli vegetali, oli di cucina esausti e grassi non utilizzabili per l'alimentazione umana e/o animale, possono essere lavorati insieme al greggio o altri feedstock fossili nelle raffinerie. Non esiste un allegato specifico dello standard D7566 per il co-processing, mentre tanto l'ASTM D1655 che la DEF STAN 91 91 prevedono Annex specifici per la materia.

Grazie