



**Politecnico  
di Torino**

## Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Dicembre 2023

# **Lo sviluppo dei carburanti sostenibili per l'aviazione**

Analisi del mercato e dello stato tecnologico e nuove strategie di  
policy

Relatori:

*Chiar.mo Prof. Carlo Cambini*

Candidati:

*Nicola Di Camillo*



*Ringrazio la mia famiglia che è la mia spina dorsale,  
la mia forza, la mia voglia di migliorarmi,  
la mia casa.*

## Sommario

Introduzione .....	5
Capitolo 1: Contesto SAF .....	10
Sezione 1: La decarbonizzazione del settore dell'aviazione.....	10
Sezione 2: Stato attuale tecnologie per la decarbonizzazione del settore aviazione.....	15
Sezione 3: SAF.....	25
Certificazione .....	26
Limite di miscelazione .....	28
Logistica dei SAF.....	29
Processi SAF .....	30
Contributo alla riduzione delle emissioni da parte dei SAF .....	46
Sezione 4: Feedstock.....	47
Sezione 5: La situazione del mercato dei combustibili alternativi (SAF).....	61
Analisi della domanda di SAF .....	61
Confronto fra offerta e domanda potenziali .....	69
Capitolo 2: Analisi value chain e soluzioni di mercato.....	72
Le reti strategiche nel mercato SAF.....	72
Rischi dell'investimento .....	73
Acquisizione e sviluppo di risorse e capacità necessarie.....	74
Gestione dei rapporti con gli altri attori della filiera.....	75
Configurazioni risolutive .....	77
Approccio sistemico: la nascita di ecosistemi SAF .....	93
Evidenze empiriche della diffusione dello schema proposto .....	99
Il caso eni .....	102
Capitolo 3: quadro normativo .....	109
Europa .....	109
EU ETS .....	110
CORSIA.....	114
RefuelEU.....	116
RED III.....	119
EU ETD.....	122

Italia .....	123
Resto del mondo.....	129
Stati Uniti d'America.....	129
Cina .....	131
Regno Unito .....	132
Capitolo 4: elementi per lo sviluppo di specifiche normative di settore.....	133
Sezione 1: Linee generali policy relative allo sviluppo de mercato dei SAF .....	133
Obiettivi di policy .....	133
Opzioni di politica SAF .....	137
Politiche per il mercato SAF .....	140
Sezione 2: studio e proposte di strumenti di policy per il mercato SAF.....	144
Conclusioni .....	180
Bibliografia .....	182

## Introduzione

Il limite di 1,5 C è una soglia critica per il cambiamento climatico globale, in quanto il suo superamento avrebbe conseguenze gravi e potenzialmente irreversibili per il pianeta. L'industria aeronautica è considerata uno dei principali contributori alle emissioni globali di gas serra (GHG). Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), l'aviazione rappresenta circa il 2,5% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>. Sebbene questo valore possa sembrare una percentuale relativamente piccola, si prevede che le emissioni del trasporto aereo continueranno a crescere man mano che i viaggi aerei diventeranno più accessibili a molte persone in tutto il mondo. Pertanto, il raggiungimento del limite di 1,5 C richiederà riduzioni significative delle emissioni in tutti i settori, compreso il trasporto aereo. Nel 2009, il trasporto aereo si è impegnato a ridurre le proprie emissioni nette di carbonio della metà rispetto ai livelli del 2005 entro il 2050. Questo obiettivo richiede all'industria di attuare misure come l'utilizzo di aerei più efficienti in termini di consumo di carburante, l'utilizzo di aerei a idrogeno ed elettrici e lo sviluppo di carburanti per aviazione sostenibili. Il carburante per aerei sostenibile (SAF) è un idrocarburo liquido alternativo con caratteristiche simili al carburante per aerei convenzionale (cherosene) specificamente progettato per l'uso negli aerei esistenti. La caratteristica chiave dei SAF è che presentano un'impronta di carbonio significativamente inferiore rispetto al carburante per aerei convenzionale. In genere, SAF offre riduzioni sostanziali delle emissioni di gas serra che vanno dal 50% all'80% rispetto al carburante per aerei a base di combustibili fossili, a seconda della materia prima e del processo di produzione. I SAF possono essere prodotti da materie prime rinnovabili o di scarto, come oli vegetali, grassi animali, residui agricoli, alghe o gas di scarico. Queste materie prime vengono elaborate attraverso vari percorsi di conversione, a seconda della materia prima, per creare un carburante che può essere utilizzato come sostituto del jet fuel convenzionale o miscelato con esso.

L'Unione europea (UE) ha adottato misure per ridurre le emissioni del trasporto aereo promuovendo l'uso di carburante sostenibile per l'aviazione come soluzione per decarbonizzare il settore. Nel 2021, la Commissione UE ha proposto di aumentare gradualmente la quota di SAF negli aeroporti dell'UE. Pertanto, l'iniziativa ReFuelEU per l'aviazione intende introdurre un mandato SAF. Il 26 aprile 2023, il parlamento e il consiglio dell'UE hanno raggiunto un nuovo accordo per aumentare l'adozione di SAF rispetto a quanto originariamente proposto dalla Commissione europea. L'aumento concordato di SAF negli aeroporti dell'UE sarà il seguente: 2% entro il 2025, 6% entro il 2030 e 20% entro il 2035, fino a un massimo del 70% entro il 2050. Di questi importi, l'1,2% nel 2030 e il 5% nel 2035, aumentando fino al 35% entro il 2050, saranno prodotti tramite power to liquid (PTL).

Il processo PTL prevede la conversione dell'elettricità rinnovabile generata dall'energia solare o eolica per produrre combustibili liquidi che possono essere utilizzati come alternative al carburante per aerei convenzionale. Man mano che il mercato SAF matura, si prevede che più impianti saranno in grado di raggiungere la loro piena capacità più rapidamente e anche i costi di produzione di SAF diminuiranno, determinando una traiettoria di assorbimento esponenziale dal 2035 al 2050. Avere un tale mandato ha molti vantaggi, a cominciare dall'aumento della domanda di SAF, che stimola l'economia nazionale, crea maggiori opportunità ed espande l'infrastruttura necessaria per raggiungere gli obiettivi. Inoltre, tale mandato dà fiducia agli investitori e alle parti interessate per sostenere la ricerca e lo sviluppo (R&S) e la commercializzazione di nuove tecnologie SAF<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023.

## Impatto del settore dell'aviazione

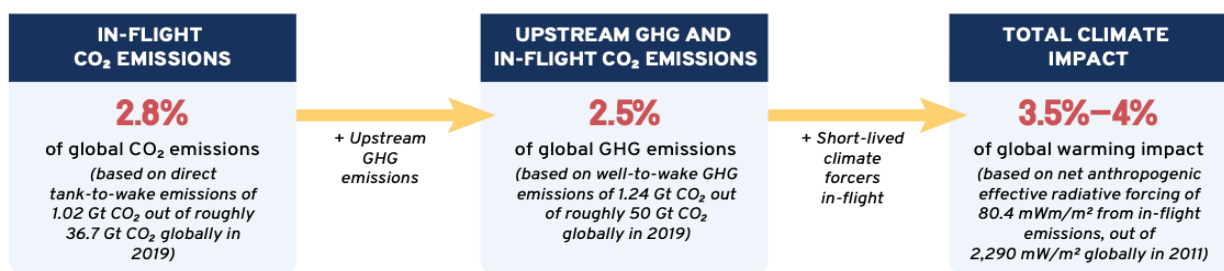


Figura 1- Impatto del settore dell'aviazione. Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"

Di tutte le emissioni globali derivanti dalle attività antropiche, il settore dell'aviazione (inclusa quella nazionale e internazionale, passeggeri e merci) rappresenta il 2,5% delle emissioni di gas serra globali derivanti dalle attività antropiche.

### Perché è difficile da attenuare l'impatto dell'aviazione?

- **Opzioni di decarbonizzazione limitate:** rispetto al trasporto terrestre, gli aeromobili fanno affidamento su combustibili liquidi ad alta densità energetica e la maggior parte delle attività di trasporto (misurate in passeggeri-chilometri) si svolge su lunghe distanze: i voli più lunghi di 1.000 miglia nautiche (1.852 km) sono responsabili di due-terzi delle emissioni nel settore dell'aviazione, pur rappresentando solo il 25% circa di tutte le partenze. Più un vettore di energia pesa e/o di più volume ha bisogno, minore sarà l'autonomia del velivolo. Questo compromesso limita l'applicabilità dell'elettrificazione diretta degli aeromobili, che rappresenta un'importante leva di decarbonizzazione per il trasporto terrestre ma non una soluzione su larga scala per l'aviazione.

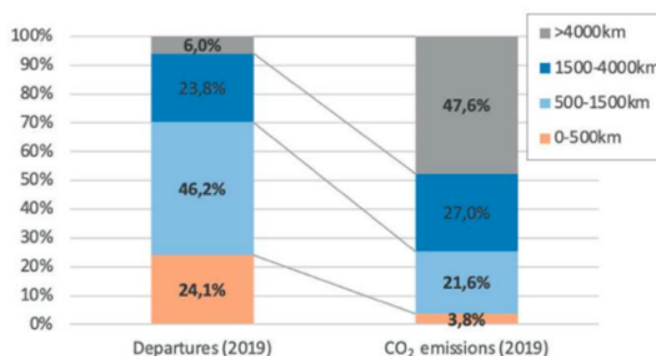


Figura 2-Percentuale di volo versus emissioni nel 2019; Fonte: EUROCONTROL, "Aviation Intelligence Unit Think"

- **Costi elevati:** ci sono poche alternative rinnovabili ai combustibili fossili per aerei, e tutte hanno un costo aggiuntivo elevato. L'unica tecnologia pronta per il mercato per spingere i voli a emissioni vicine allo zero in questo decennio sono i SAF, che sono attualmente 2-5 volte più costosi dei combustibili fossili per aerei (prima di prendere in considerazione qualsiasi incentivo politico).



- **Elevata crescita della domanda:** sebbene il COVID-19 abbia ritardato la crescita del traffico aereo di alcuni anni, la domanda dovrebbe rimbalzare a livelli pre-pandemia entro circa il 2024. Dopo questa normalizzazione, l'aviazione tornerà su un forte percorso di crescita con tassi di crescita di circa il 3,0% all'anno. Nel 2018, il 62% delle emissioni di CO2 dell'aviazione passeggeri commerciale globale sono state emesse da voli in partenza da paesi ad alto reddito che rappresentano solo il 16% della popolazione mondiale. La crescita del PIL nei paesi in via di sviluppo sbloccherà un'enorme domanda aggiuntiva di viaggi aerei. E poiché l'industria aeronautica rafforza la crescita del PIL, la decarbonizzazione dell'aviazione diventa ancora più impegnativa e allo stesso tempo ancora più importante.

- **Forzatori climatici di breve durata:** secondo le attuali conoscenze scientifiche, circa due terzi dell'impatto climatico dell'aviazione potrebbero derivare da effetti non-CO2, principalmente scie di condensa e nuvole di cirri. La buona notizia risiede nel fatto che la riduzione delle emissioni di CO2 deve sempre essere la priorità numero uno (perché la CO2 si accumula nell'atmosfera mentre i forzatori climatici di breve durata no) e molte tecnologie di riduzione della CO2 riducono anche gli effetti non di CO2. Recenti intuizioni indicano una notevole riduzione della nuvolosità indotta dall'aviazione attraverso l'uso di alcuni tipi di combustibili per l'aviazione sostenibile (SAF), i cosiddetti cheroseni paraffinici sintetici (SPK) o idrogeno.<sup>2</sup>

### **Perché è fondamentale dare il via alla transizione allo zero netto in questo decennio?**

- **TRL bassi:** molti percorsi di produzione SAF hanno ancora un livello di prontezza tecnologica insufficiente (TRL di 5-9) per aumentare immediatamente. Gli aerei elettrici a idrogeno e a batteria si classificano a TRL ancora più bassi di 1-5.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY / JULY 2022».

<sup>3</sup> F. Afonso *et al.*, «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 febbraio 2023.

Livello di prontezza tecnologica (TRL) per le fonti energetiche, come percepito dagli autori.

Fonte di energia	Potenziale	TRL	Osservazioni
Biocarburante drop-in	Basso	9	A seconda della disponibilità di biomassa residua esistente A seconda di una produzione sostenibile, esigenze infrastrutture, problemi di archiviazione e richiede grandi cambiamenti nel design dell'aereo
Idrogeno liquido (combustione)	Media altezza	3-4	
Idrogeno (pila a combustibile)	medio	3-4	A seconda di una produzione sostenibile, esigenze infrastrutture, problemi di archiviazione e richiede grandi cambiamenti nel design dell'aeroplano
Batterie	Basso	3-4	A seconda di una produzione sostenibile e ricarica, bassa densità di energia, richiede un più pesante sistema di gestione termica

Figura 3-TRL tecnologie di decarbonizzazione Fonte: F. Afonso et al., «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review

- **Agire richiede tempo:** la costruzione di nuovi impianti di produzione SAF (e le catene di approvvigionamento delle risorse associate, ad esempio per la consegna della biomassa) di solito richiede da cinque a sei anni prima che siano pienamente operativi. Abbiamo sette anni fino al 2030. I nuovi impianti SAF e le relative infrastrutture a monte (generazione di elettricità rinnovabile, produzione di idrogeno, cattura di CO<sub>2</sub>, fornitura di biomassa sostenibile) devono essere pianificati entro i prossimi due o tre anni se sono destinati a raggiungere gli obiettivi del 2030.

- **Natura internazionale dell'aviazione<sup>4</sup>:** il 60% delle emissioni dell'aviazione passeggeri proviene dai voli internazionali. Pertanto, è difficile far decollare i progetti modello nazionali per i voli internazionali perché potrebbero generare determinati effetti di distorsione del mercato e di perdite di carbonio, ad esempio, i voli di scalo potrebbero essere reindirizzati dagli aeroporti intermedi nei paesi con schemi di tariffazione del carbonio verso paesi che non hanno tali normative. Ciò potrebbe mettere l'industria aeronautica nazionale in un certo svantaggio economico rispetto ad altri mercati che non hanno alcuna misura di sostenibilità a costi. Tuttavia, tali effetti di distorsione del mercato competitivo potrebbero essere alleviati da contromisure da parte dei responsabili politici (come discusso ad esempio nella proposta di politica aerea ReFuelEU della Commissione europea).

- **Mercato competitivo:** le compagnie aeree operano con margini di profitto ristretti e con elevate spese di capitale. Inoltre, la concorrenza è elevata, in particolare da e tra i vettori low-cost. Ciò indebolisce gli incentivi per gli investimenti sostenibili a lungo termine da parte delle compagnie aeree.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> EUROCONTROL, «Aviation Intelligence Unit Think Paper #10 - 20 April 2021».

<sup>5</sup> Helleloid, Duane, Nam, Seong-Hyun, Schultz, Patrick, Vitton, J.; The U.S. airline industry in 2015

## Capitolo 1: Contesto SAF

### Sezione 1: La decarbonizzazione del settore dell'aviazione

L'industria aeronautica presenta cinque leve principali che possono spingerla verso emissioni nette zero:

1. riduzione della domanda di viaggi aerei,
2. miglioramenti dell'efficienza,
3. SAF,
4. nuovi aerei di propulsione (idrogeno, batteria-elettrico e ibrido) e
5. soluzioni CDR (Carbon dioxide removal)

$$\text{TOTAL EMISSIONS} = \text{Flight kilometres} \times \frac{\text{Required energy}}{\text{Flight kilometres}} \times \frac{\text{CO}_2 \text{ emissions}}{\text{Energy}}$$

Figura 4-Soluzioni per la decarbonizzazione e ruolo nella riduzione delle emissioni totali; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"

Questo portafoglio di soluzioni per la decarbonizzazione consentirebbe la riduzione delle emissioni totali derivanti dal settore dell'aviazione operando sui diversi fattori che vediamo in figura. In particolare, la riduzione della domanda di viaggi aerei consentirebbe una riduzione dei chilometri di volo percorsi; l'utilizzo di SAF e di nuove tecnologie di propulsione andrebbero invece ad agire sul *rate* tra emissioni ed energia utilizzata consentendo una riduzione di emissioni a parità di energia richieste; l'energia richiesta per chilometro potrebbe essere razionalizzata attraverso un miglioramento dell'efficienza sia tecnologica che organizzativa per quanto riguarda il settore dell'aviazione. L'ultima misura citata sono le soluzioni di rimozione di CO<sub>2</sub> le quali avrebbero un impatto diretto sulle emissioni del settore.

Dal report: "Making net-zero aviation possible"<sup>6</sup> redatto da Mission possible partnership è possibile estrarre una panoramica sulle 5 principali soluzioni per la decarbonizzazione, valutandone la scalabilità, la maturità tecnologica, la commerciabilità e le principali barriere alla quali sono esposte.

		<b>Applicability at scale (i.e., potential impact)</b>	<b>Technology readiness level (TRL)</b>	<b>Market availability at scale</b>	<b>Main barriers</b>
<b>1) Air travel demand reduction</b>		Strong dependence on future behaviour, regional market developments, and elasticity towards increased ticket prices	-	-	High demand growth, low development of high-speed rail network, trade-off with co-benefits of flying (connecting people and cultures)
<b>2) Efficiency improvements</b>		High impact from a maximum 2%/y efficiency improvement	8-9 (more advanced efficiency measures rank lower)	High	<b>Aircraft efficiency:</b> upfront development costs <b>Operational efficiency:</b> international coordination
	HEFA	High limitation of sustainable biomass feedstock to supply about 50 Mt SAF/y	9	High	Feedstock constraints
<b>3) Sustainable Aviation Fuels (SAFs)</b>	Other biofuels	Limitation of sustainable feedstock to supply about 250 Mt SAF/y	6-8	Medium	Market entry at scale and currently considerably higher cost than fossil jet fuel (2-5x historical fossil jet fuel prices)
	PTL	Theoretically unlimited feedstock (but potential supply constraints of renewable electricity, hydrogen, and captured CO <sub>2</sub> )	5-6	Low	
<b>4) Novel propulsion technologies</b>	Hybrid aircraft	Applicable to almost all flight ranges	1-5	Not yet at market	Up-front technology development costs and certification
	Hydrogen aircraft	Applicable to short- and mid-haul (+ maybe long-haul) flights			
	Battery-electric aircraft	Applicable to short-haul flights			
<b>5) Carbon dioxide removal (CDR) solutions</b>		Only supporting measure, not replacing switch to renewable fuels	3-9 (NCS: 8-9; DAC: 3-6; BECCS: 6-9)	Medium	Monitoring and measurement of long-term carbon sequestration, ramp-up limits, large investment requirements, in particular for hybrid and engineered solutions

Figura 5-Analisi sintetica delle principali soluzioni di decarbonizzazione; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"

<sup>6</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C-aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY / JULY 2022».

## Destination 2050

La rilevanza del settore aereo in termini di impatto ambientale è, ad oggi, globalmente condivisa e spinge i principali attori dei mercati internazionali ad adottare delle misure volte alla gestione delle emissioni di questo settore. L'Europa lo ha fatto con il piano Destination 2050. "Destination 2050 – A Route to Net Zero European Aviation"<sup>7</sup> è un piano che punta alla decarbonizzazione totale del settore dell'aviazione civile europea entro il 2050. L'iniziativa per la riduzione delle emissioni nocive nell'atmosfera nell'ambito del trasporto aereo è promossa dalle 5 associazioni aeronautiche europee: Airports Council International Europe (ACI EUROPE), AeroSpace and Defense Industries Association of Europe (ASD Europe), Airlines for Europe (A4E), Civil Air Navigation Services Organization (CANSO) e European Regions Airline Association (ERA). L'obiettivo di questo piano è raggiungere entro il 2050 l'azzeramento delle emissioni nette di CO<sub>2</sub> da tutti i voli all'interno e in partenza dall'UE2 attraverso sforzi coordinati e decisivi dell'industria e del governo. Le emissioni assolute sono ridotte del 92%, mentre il restante 8% viene rimosso dall'atmosfera attraverso emissioni negative, ottenute attraverso pozzi di carbonio naturali o tecnologie dedicate. L'industria aeronautica europea si impegna a raggiungere questo obiettivo e a contribuire agli obiettivi fissati nel Green Deal europeo e nell'accordo di Parigi.

Lo studio condotto dal Royal Netherlands Aerospace Centre e SEO Amsterdam<sup>8</sup> valuta in che misura quattro gruppi di misure di sostenibilità sono in grado di ridurre le emissioni di carbonio fino al 2050, fortemente influenzate da politiche e azioni. Gli effetti di queste misure sono confrontati con un ipotetico scenario di riferimento che tiene conto della continua crescita della domanda e del recente impatto del COVID-19. Queste misure di sostenibilità comportano le seguenti riduzioni nette di emissioni di CO<sub>2</sub> nell'anno 2050:

- 111 MtCO<sub>2</sub> attraverso miglioramenti nella tecnologia degli aeromobili e dei motori: 60 MtCO<sub>2</sub> di aeromobili alimentati a idrogeno sulle rotte intraeuropee e 51 MtCO<sub>2</sub> da aeromobili alimentati a cherosene o elettrici (ibridi);
- 18 MtCO<sub>2</sub> attraverso miglioramenti nella gestione del traffico aereo (ATM) e nelle operazioni degli aeromobili;
- 99 MtCO<sub>2</sub> attraverso l'utilizzo di carburanti per aviazione sostenibili drop-in (SAF);
- 22 MtCO<sub>2</sub> attraverso misure economiche (progetti di rimozione del carbonio).

---

<sup>7</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

<sup>8</sup> Destination 2050: A route to net zero european aviation executive summary & industry commitments (executive summary)

Il costo combinato di queste misure di sostenibilità è modellato per incidere sui prezzi dei biglietti, con conseguente riduzione dei viaggi aerei richiesta. Ciò eviterebbe 43 MtCO<sub>2</sub> pur mantenendo un tasso di crescita annuale composto medio dei passeggeri dell'1,4%.

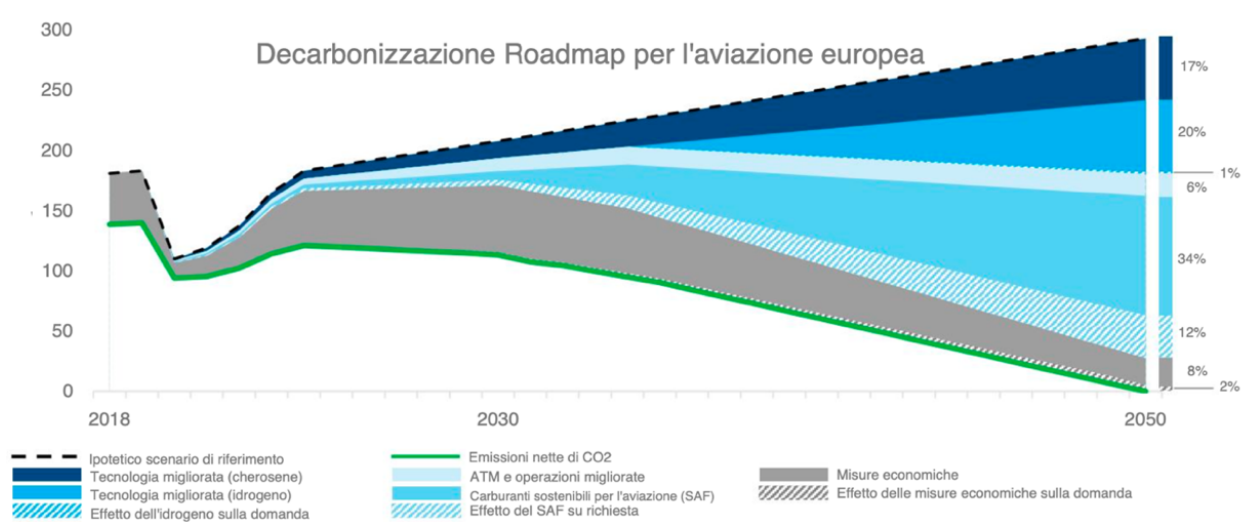


Figura 6-Fonte: «Destination 2050-A route to net zero European aviation Preface»

## Road map

L'unica opzione a breve termine per disaccoppiare completamente la curva di crescita della domanda di aviazione dalla curva delle emissioni è cambiare la fonte delle emissioni di CO<sub>2</sub>: il carburante<sup>9</sup>. Ci sono principalmente tre possibili candidati per sostituire il carburante per aviazione convenzionale: batterie, idrogeno e SAF. Queste non sono tre soluzioni alternative ma soluzioni alle quali bisogna lavorare in maniera parallela in quanto sarà necessario il loro utilizzo combinato per raggiungere gli obiettivi prestabiliti. La tecnologia che presenta, ad oggi, un livello di maturità superiore è quella dei SAF, per questo motivo sino al 2030 sarà l'opzione sulla quale si concentrerà maggiormente l'attenzione dei diversi produttori, compagnie aeree e governi, come confermato dalla figura 7 che offre un quadro di sintesi delle roadmap volta alla decarbonizzazione del settore dell'aviazione.

<sup>9</sup> «Aircraft Technology Net Zero Roadmap 2». [Online]. Disponibile su: [www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org)

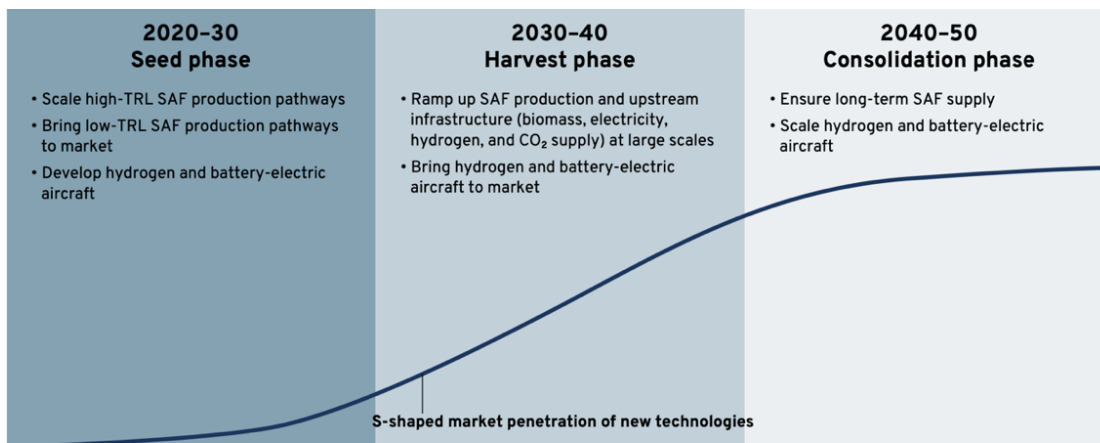


Figura 7-Principali azioni per ogni decennio; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"

## Investimenti necessari

Gli investimenti medi annuali tra il 2022 e il 2050 per portare l'aviazione globale allo zero netto sono stimati, dallo studio di MPP, pari circa a 175 miliardi di dollari, circa il 95% dei quali sarebbe necessario per la produzione di carburante sostenibili e le attività a monte.

Raggiungere una crescita carbon-neutral fino al 2030 (cioè mantenere gli stessi livelli di emissioni del 2019) richiederebbe investimenti medi annui da circa 40 a 50 miliardi di dollari in questo decennio. Fino alla metà del secolo, sarebbe necessario un investimento di capitale totale di circa 175 miliardi di dollari (Figura 8). Questo si confronta con il contributo annuale dell'aviazione al PIL globale di circa 2 trilioni di dollari. Di questi investimenti, il 92%-96% è necessario per la produzione di combustibili rinnovabili, compresa non solo la produzione finale di carburante, ma anche tutte le attività a monte: circa il 30%-50% di quel capitale è necessario per i nuovi impianti di produzione SAF, circa il 35%-50% per la nuova capacità di generazione di elettricità rinnovabile e il resto per gli impianti di cattura della CO<sub>2</sub>. Il restante 4%-8% del fabbisogno totale di investimenti confluisce nello sviluppo di aeromobili a batteria-elettrici, ibridi-elettrici e a idrogeno<sup>10</sup>. Gli investimenti di capitale annuali totali non includono il costo in conto capitale dei nuovi aerei a reazione convenzionali che sarebbero necessari anche per una normale sostituzione/espansione della flotta senza decarbonizzazione. Poiché i SAF possono essere semplicemente miscelati con il combustibile fossile

<sup>10</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C-aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY / JULY 2022».

per aerei come carburanti drop-in, il loro impatto sui costi del capitale degli aeromobili è trascurabile rispetto agli investimenti richiesti nella catena di produzione del carburante.

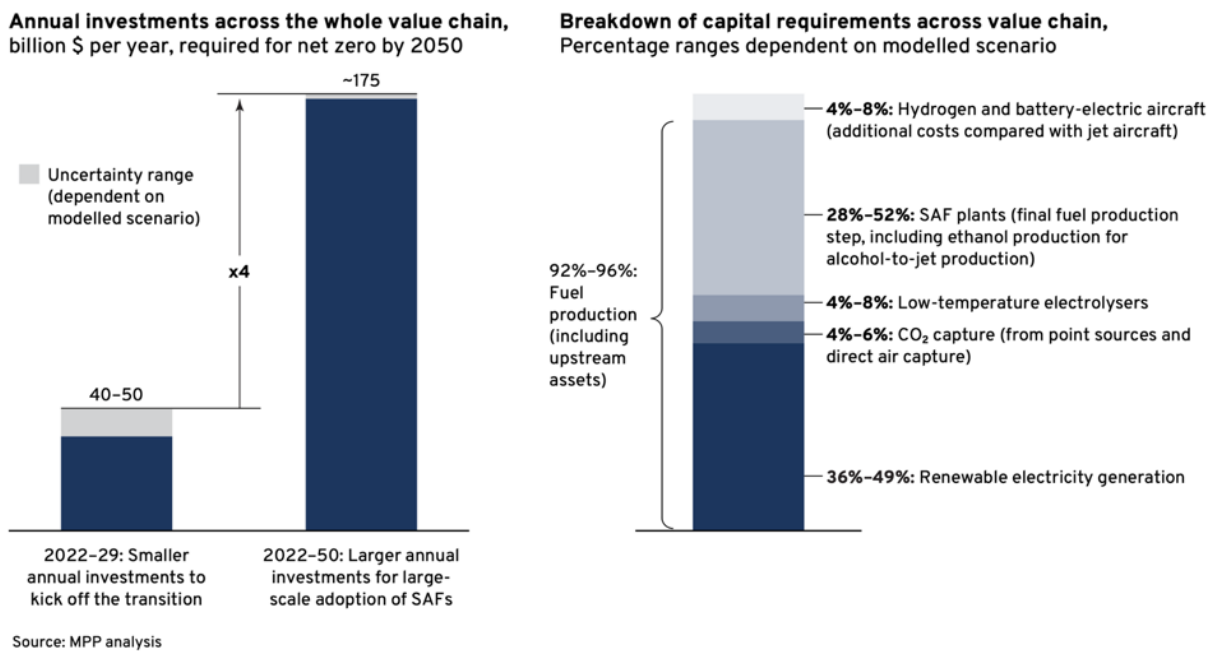


Figura 8-Investimenti necessari; Fonte: MPP; “Making net-zero aviation possible”

## Sezione 2: Stato attuale tecnologie per la decarbonizzazione del settore aviazione

La decarbonizzazione attesa per il settore dell’aviazione civile può far leva su tre macroaree di intervento:

- Le tecnologie di propulsione innovative ed i nuovi vettori;
- Il contenimento delle emissioni legate alle operazioni al suolo ed il volo;
- L’utilizzo di combustibili alternativi a ridotte emissioni clima-alteranti.

### Riduzione del fabbisogno energetico in volo

Gli sforzi per migliorare l'efficienza energetica in volo mediante investimenti in nuova propulsione, cellule, strutture e sistemi sono indipendenti dal carburante utilizzato per il volo. Storicamente, i velivoli di nuova generazione hanno ridotto del 20% il consumo di energia rispetto al velivolo che sostituiscono<sup>11</sup>. La transizione completa alla migliore tecnologia aeronautica oggi disponibile non è stata ancora del tutto conseguita. Ad esempio, molti Airbus A320 vengono ancora sostituiti da A320neos e Boeing 737 da 737-Max. Questa sostituzione della flotta fornirà già una riduzione iniziale del consumo di

<sup>11</sup> «Aircraft Technology Net Zero Roadmap 2 ». [Online]. Disponibile su: [www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org)



energia in volo. Le recenti valutazioni tecnologiche per i velivoli evolutivi prevedono un ulteriore miglioramento del 15-20%, rispetto alla migliore tecnologia oggi disponibile attraverso l'introduzione di motori più efficienti, materiali più leggeri e aerodinamica migliorata. Maggiori dettagli possono essere trovati nel rapporto ICAO Long Term Aspirational Goal<sup>12</sup>, nella valutazione degli obiettivi tecnologici integrati di esperti indipendenti dell'ICAO e nel rapporto Waypoint 2050 di ATAG<sup>13</sup>. Entro il 2050, i miglioramenti tecnologici negli aeromobili potrebbero ridurre il consumo di energia in volo di quasi il 7%, abbassando il consumo totale di energia in volo previsto da 27 a 25 EJ1 (nel 2019 era di 13 EJ). A seconda di come viene alimentato il volo, ciò potrebbe tradursi in un notevole risparmio energetico a terra. L'efficienza della produzione di carburanti a terra significa che a terra sono necessari tra 0,1 e 3,5 MJ di energia per ogni 1 MJ di energia richiesta in volo. Per la soluzione ad alta intensità energetica oggi, ovvero i carburanti Power-to-Liquid (PtL), un risparmio energetico in volo accumulato a livello di flotta di 3 EJ potrebbe tradursi in quasi 10 EJ di energia risparmiata a terra.<sup>14</sup> Questo è paragonabile all'attuale consumo di energia dell'Italia o del Messico in un anno.

## **Programmazione dei voli**

Il potenziale di ottimizzazione della programmazione dei voli sia a livello di compagnia aerea che di gestione del traffico aereo potrebbe consentire di effettuare più voli e ridurre le emissioni per volo. Tassi di occupazione efficienti per ridurre il consumo di carburante per passeggero per chilometro sono auspicabili sia dal punto di vista economico che ambientale. Schennings et al.<sup>15</sup> ha sviluppato un algoritmo per la prenotazione dei voli passeggeri che riduce al minimo le emissioni di CO<sub>2</sub> in base alle scelte dei passeggeri. Lindner et al.<sup>16</sup> ha studiato il potenziale di risparmio di carburante quando si integra la pianificazione dei voli con il modello di rotazione dell'aeromobile tenendo conto delle prestazioni dell'aeromobile. È stata ottenuta una riduzione del carburante inferiore all'1%, tuttavia questa pratica, se applicata a un'intera flotta, potrebbe comportare un notevole risparmio di carburante e di costi. A livello di gestione del traffico aereo (ATM) sono previste molte innovazioni che potenzialmente riducono i ritardi e di conseguenza le emissioni riducendo al minimo le fasi di attesa indesiderate del volo. Ciò è indicato in particolare nella gestione del flusso del traffico aereo (ATFM), come delineato nei programmi di ricerca The US Next Generation Air Transportation System

---

<sup>12</sup> ICAO, special supplement: "Long-term aspirational goal"

<sup>13</sup> [https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050\\_v2021\\_27sept\\_full.pdf](https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf)

<sup>14</sup> F. Afonso et al., «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 febbraio 2023

<sup>15</sup> Schennings, Andreas; Larsson, Joel; Robèrt, Markus; Development and implementation of an emission optimization model for passenger flight bookings

<sup>16</sup> M. Lindner, J. Rosenow, S. Förster, H. Fricke, Potential of integrated flight scheduling and rotation planning considering aerodynamic-, engine- and mass- related aircraft deterioration, *CEAS Aeronaut. J* 10 (2019) 755–770.

(NextGen)<sup>17</sup> e SESAR (Single European Sky ATM Research) dell'Unione europea. ATFM è costituito dalle infrastrutture di supporto per la regolazione del flusso del traffico aereo, principalmente per risolvere le perturbazioni dovute a condizioni meteorologiche impreviste e interruzioni di capacità. Una serie di miglioramenti nelle operazioni ATM e degli aeromobili comporta una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> a livello di sistema dal 5 al 6% nel 2030 e nel 2050 rispetto allo scenario di riferimento. Richiedendo azioni da parte di tutti gli attori del settore e dei governi, la maggior parte di questi miglioramenti potrebbe essere realizzata entro il 2035.

Kistan et al.<sup>18</sup> ha citato in particolare l'integrazione delle innovazioni in materia di comunicazioni, navigazione, sorveglianza/gestione del traffico aereo e avionica (CNS+A) e interfaccia uomo-macchina (HMI) nell'infrastruttura ATFM. Viene anche esplorato come applicare metodi di apprendimento automatico per aumentare l'automazione in ATFM. Un altro filone di ricerca sulla programmazione dei voli è il Collaborative Decision Making (CDM) che considera l'assegnazione degli slot di arrivo alle compagnie aeree invece dell'assegnazione dei voli agli slot, il che può fornire alle compagnie aeree un incentivo a segnalare i ritardi dei voli<sup>19</sup>.

Sempre a livello ATM esistono anche diversi studi esplorativi con l'obiettivo di ottimizzare le operazioni di volo, soprattutto in prossimità degli aeroporti dove spesso si riscontra la congestione. Diversi articoli mirano a ridurre il tempo di ritardo mediante l'ottimizzazione per modificare la traiettoria di volo e massimizzare le prestazioni. Riducendo il tempo di ritardo, anche il carburante bruciato potrebbe essere ridotto. Xu et al.<sup>20</sup> ha sviluppato un quadro per l'ATM che intende ottimizzare le operazioni e fornire linee guida efficienti in termini di costi agli aerei di linea per quanto riguarda le traiettorie di volo. Sono riusciti a ridurre i tempi di ritardo e il carburante consumato per un vero banco di prova.

---

<sup>17</sup> <https://www.faa.gov/nextgen>

<sup>18</sup> T. Kistan, A. Gardi, R. Sabatini, S. Ramasamy, E. Batuwangala, An evolutionary outlook of air traffic flow management techniques, *Prog. Aerosp. Sci.* 88 (2017) 15–42, <http://dx.doi.org/10.1016/j.paerosci.2016.10.001>.

<sup>19</sup> F. Afonso et al., «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 febbraio 2023

<sup>20</sup> Y. Xu, R. Dalmau, M. Melgosa, A. Montlaur, X. Prats, A framework for collaborative air traffic flow management minimizing costs for airspace users: Enabling trajectory options and flexible pre-tactical delay management, *Transp. Res. B* 134 (2020) 229–255, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2020.02.012>.

## **Informazioni di base per i velivoli a idrogeno ed elettrici a batteria**

Di seguito è riportata un'analisi sintetica relativa alle tecnologie dei velivoli ad idrogeno e elettrici a batteria, realizzata sulla base degli studi dalla comunità industriale della Target True Zero Initiative e della Mission Possible Partnership<sup>21</sup>.

Benefici:

- Benefici diversi dalla CO2: l'idrogeno e gli aeromobili elettrici a batteria hanno il potenziale per ridurre l'impatto climatico del trasporto aereo senza CO2, migliorare la qualità dell'aria locale e ridurre i livelli di rumore negli aeroporti.
- Opportunità di mercato: sebbene i velivoli elettrici a batteria contribuiscano solo in minima parte alla riduzione complessiva delle emissioni di gas serra necessaria per raggiungere lo zero netto, offrono un ampio mercato. Dal momento che operano su basse distanze, la quota di aeromobili elettrici a batteria sulla flotta globale è notevolmente superiore al loro contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra. Gli aeromobili a decollo e atterraggio elettrici (eVTOL) possono persino sbloccare nuovi mercati per le rotte di volo che attualmente non sono servite dagli aeroporti regionali.

Sfide:

- Esigenze infrastrutturali: le infrastrutture aeroportuali per la ricarica (o la sostituzione delle batterie) e il rifornimento di idrogeno devono essere istituite per soddisfare la domanda di energia degli aerei a idrogeno ed elettrici a batteria. I "corridoi verdi" potrebbero dare il via all'introduzione di nuovi velivoli a propulsione, fornendo l'infrastruttura necessaria in due aeroporti dedicati con operazioni regolari tra di loro. A più lungo termine, è necessario garantire l'interoperabilità, ovvero la fornitura, la movimentazione e il rifornimento di idrogeno, elettricità e SAF negli aeroporti di tutto il mondo, quando la flotta di aeromobili sarà composta da un mix di jet convenzionali, idrogeno e batteria- aereo elettrico.
- Certificazione: per dispiegare il loro pieno potenziale, la struttura del velivolo a idrogeno e a batteria elettrica dovrà probabilmente essere riprogettata per ottenere rapporti di planata più elevati, strutture più leggere e uno stoccaggio su misura dell'idrogeno/batterie all'interno del velivolo. Ciò verrà fornito con nuove certificazioni e requisiti di sicurezza.

---

<sup>21</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY (report) ».

- Autonomia degli aeromobili elettrici a batteria: affinché le batterie siano utilizzabili per voli fino a 1.000 km, dovranno aumentare la loro densità energetica di un fattore 4 rispetto ai livelli odierni, fino ad almeno 800 Wh/kg. Ciò richiederà una svolta nella chimica delle batterie al di là dell'attuale dominante agli ioni di litio (Li-ion). Tuttavia, le batterie Li-aria o Li-metallo sono ancora in una fase relativamente iniziale di sviluppo e mancano di durata e longevità.

I velivoli a idrogeno e a batteria elettrica sono limitati nella loro autonomia massima dalla loro massima densità di energia dei loro sistemi di accumulo, vale a dire serbatoi di idrogeno liquefatto o batterie (Figura 9), ma potrebbero subire miglioramenti tecnologici per raggiungere densità di energia drasticamente più elevate verso il 2050<sup>22</sup>. Fino a quando queste tecnologie le innovazioni si materializzano, i velivoli ibridi-elettrici potrebbero combinare i vantaggi di autonomia dei velivoli alimentati da SAF con l'efficienza dei velivoli elettrici. Per i velivoli elettrici a batteria e a idrogeno, le date di ingresso sul mercato evidenziano l'ingresso sul mercato su larga scala piuttosto che l'ingresso sul mercato di velivoli unici nel loro genere.

La portata di questi velivoli è allineata con la granularità del modello di intervalli di 500 nm (926 km). Al di sotto di questo limite di ~1000 km, le emissioni di CO<sub>2</sub> degli aeromobili commerciali che effettuano voli tra 0 e 500 km ammontano a circa il 5% delle emissioni totali dell'aviazione commerciale, mentre i voli nell'intervallo compreso tra 501 e 1.000 km emettono circa il 10% delle emissioni totali. Mentre non risolvendo questi "sotto-contenitori", l'ipotesi implicita di modellazione è che i velivoli elettrici a batteria e a celle a combustibile a idrogeno entreranno prima nel mercato nel segmento di fascia più bassa, con meno posti e poi nel tempo penetreranno nel mercato nel secondo anche "sub-bin" se si materializzano ulteriori progressi tecnologici.

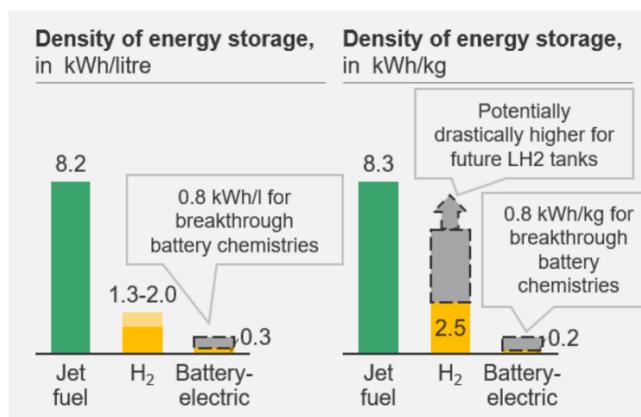


Figura 9- Hydrogen storage systems and batteries; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"; Technical appendix

<sup>22</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY (technical appendix) / JULY 2022».

## **Gli aeroporti come perno della decarbonizzazione.**

Gli aeroporti sono un elemento centrale nel processo di decarbonizzazione del settore. Gli aeroporti sono infrastrutture fortemente intensive sotto l'aspetto energetico, con un alto impatto ambientale<sup>23</sup>. Allo stesso tempo, molti aeroporti ed operatori aeroportuali si sono impegnati a ridurre le proprie emissioni fissando anche obiettivi sfidanti per il 2050. In questo contesto, diverse organizzazioni si sono dedicate allo sviluppo di linee guida per sostenere l'oneroso percorso di decarbonizzazione del settore aeroportuale, tra cui:

- L'Airport Council International (ACI), promotore del sistema di accreditamento *Airport Carbon Accreditation* (ACA), a cui hanno aderito 278 aeroporti europei. Il sito dell'ACI ospita una raccolta pubblica delle roadmap di decarbonizzazione progettate da numerosi aeroporti internazionali. L'ACI ha raccolto e classificato gli interventi intrapresi e programmati in queste roadmap, realizzando uno studio settoriale e delineando le linee guida per la decarbonizzazione del sistema aeroportuale e la realizzazione di una roadmap.
- La *European Civil Aviation Conference* (ECAC) ospita sul proprio sito una raccolta dei piani nazionali per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'aviazione civile. Tra questi, figura il Piano Nazionale Italiano realizzato da ENAC.
- L'*International Civil Aviation Organization* (ICAO), attraverso il suo programma di protezione ambientale (*Committee on Aviation Environmental Protection*, CAEP), ha rilasciato una collezione di documenti, denominata *Eco-Airport Toolkit*, con lo scopo di indirizzare lo sviluppo sostenibile degli aeroporti.

Sulla base delle roadmap pubblicate da ACI e dei piani nazionali raccolti da ECAC, sono numerose le iniziative potenziali; esempi di misure applicabili dagli aeroporti nel perseguimento dei loro obiettivi di decarbonizzazione sono state sintetizzate nella tabella successiva.

---

<sup>23</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».

Table 1- Lista delle misure applicabili dagli aeroporti nel loro percorso di decarbonizzazione.

Categoria	Misura
<b>Efficienza energetica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione dei dispositivi di illuminazione con tecnologia LED</li> <li>• Adozione di un sistema intelligente per la gestione dell'energia</li> <li>• Installazione di inverter per l'efficientamento delle unità di condizionamento dell'aria</li> <li>• Sostituzione di unità di raffrescamento con modelli più efficienti</li> <li>• Ristrutturazione degli edifici esistenti per migliorarne la performance termica</li> <li>• Efficientamento di dispositivi elettronici vari (PC, laptop, schermi, etc.)</li> </ul>
<b>Generazione di energia rinnovabile sul posto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di impianti ad energia rinnovabile (prevalentemente solare, ma anche eolica, geotermica e biogas da rifiuti, qualora sussistano le condizioni necessarie)</li> <li>• Installazione di sistemi di accumulo a batteria o tramite elettrolisi.</li> <li>• Sviluppo di una Smart Grid aeroportuale, con sistemi di controllo intelligente e gestione della ricarica dei veicoli elettrici</li> </ul>
<b>Decarbonizzazione dei servizi di riscaldamento e raffrescamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso di combustibili alternativi per il riscaldamento (biogas/biometano)</li> <li>• Installazione di pompe di calore</li> <li>• Cogenerazione e trigenerazione, alimentati da fonti energetiche rinnovabili</li> <li>• Uso di energia rinnovabile geotermica e solare</li> </ul>
<b>Acquisto di energia elettrica rinnovabile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisto di elettricità provvista di garanzie d'origine</li> <li>• Acquisto di energia rinnovabile tramite <i>Power Purchase Agreement</i> a lungo termine</li> </ul>
<b>Decarbonizzazione della flotta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione degli autoveicoli e veicoli <i>light-duty</i> con mezzi elettrici o ibridi</li> <li>• Sostituzione dei mezzi per le operazioni a terra (GSE, GPU, etc.) con veicoli elettrici o alimentati ad idrogeno</li> <li>• Uso di combustibili alternative (biodiesel) per mezzi pesanti di difficile elettrificazione (ad esempio, spalaneve)</li> </ul>
<b>Tecnologie ad emissioni negative</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimenti in progetti di riforestazione, preferibilmente locali</li> <li>• Investimenti in progetti <i>nature-based</i> per il sequestro del carbonio (ad esempio, biochar)</li> </ul>
<b>Misure per ridurre le emissioni in Scope 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorire il trasporto intermodale da e verso l'aeroporto, tramite investimento in infrastrutture locali, servizi con bus elettrici o alimentati a biocarburante, installazione di punti di ricarica per veicoli elettrici, ed iniziative quali <i>carpooling</i></li> <li>• Condurre campagne di sensibilizzazione per dipendenti e passeggeri</li> <li>• Decarbonizzazione dell'energia fornita agli aeroplani a terra, tramite sostituzione delle GPU e APU alimentate a combustibili fossili con GPU elettriche o alimentate ad idrogeno. Espansione dei punti di ricarica fissi (Fixed Electric Ground Power, FEGP) per gli aeroplani.</li> </ul>

## Combustibili sostenibili per l'aviazione

I SAF forniscono un importante contributo al raggiungimento di zero emissioni nette di carbonio nel 2050. L'offerta di SAF potrebbe aumentare da 3 Mt nel 2030 a 32 Mt nel 2050, pari all'83% del consumo totale di cherosene<sup>24</sup>. Il contributo SAF è diretto legato allo sviluppo della capacità

<sup>24</sup> Rapporto dell'UFAC sulla promozione dello sviluppo e dell'utilizzo di carburanti sostenibili per l'aviazione

produttiva industriale e fortemente condizionato da una politica di sostegno di lungo periodo. Il contributo SAF nel 2030 può essere aumentato attraverso un forte sostegno politico allo sviluppo di SAF. Nel corso del tempo, la riduzione della CO<sub>2</sub> del ciclo di vita aumenta di quasi il 100% mentre i costi di produzione diminuiscono. Devono essere adottate misure cruciali per scalare e commercializzare l'implementazione SAF. Pur facendo di criteri di sostenibilità solidi e trasparenti alla base di un quadro politico a lungo termine, dovrebbe essere stabilita una base di materie prime diversificata e sostenibile. Ciò combinerebbe i biocarburanti provenienti da rifiuti, residui e colture non alimentari (lignocellulosici), nonché i combustibili elettronici provenienti dall'elettricità rinnovabile e dalla CO<sub>2</sub> proveniente dalla cattura diretta dell'aria. Molteplici percorsi di produzione dovrebbero essere testati in impianti pilota e first of kind. Ciò aumenta l'apprendimento tecnologico, riduce i rischi e diminuisce i costi di produzione. Se il divario di prezzo con i combustibili fossili viene superato, i SAF potrebbero soddisfare l'intera domanda di cherosene dai voli intraeuropei, rendendo necessario aumentare il rapporto di miscelazione consentito dalla certificazione ASTM dal 50% attuale al 100%<sup>25</sup>. Per affrontare in maniera efficace la differenza di prezzo con i combustibili fossili in tutta la catena del valore, e quindi rendere le SAF più accessibili, le politiche devono includere misure per ridurre il rischio gli investimenti e aumentare la produzione e l'off-take. Tali misure potrebbero includere incentivi finanziari (ad esempio prezzi del carbonio, sovvenzioni, meccanismi di vendita all'asta e sovvenzioni di capitale) e misure normative come l'attuazione di un obbligo di miscelazione a livello dell'UE. I tempi e le condizioni per l'attuazione di queste misure sono attualmente in fase di indagine in ReFuelEU Aviation<sup>26</sup>. Per ridurre ulteriormente i costi e aumentare le riduzioni delle emissioni, dovrebbe essere attuato un quadro di monitoraggio e contabilità trasparente, simile al quadro per l'elettricità rinnovabile. Ciò darebbe alle compagnie aeree la possibilità di rivendicare l'uso di SAF nel modo più efficiente dal punto di vista economico in tutta la flotta, indipendentemente da dove SAF è stato fisicamente sollevato.<sup>27</sup>

### **Soluzioni per la rimozione dell'anidride carbonica (CDR).**

Le soluzioni CDR sono necessarie per neutralizzare l'ultimo 5-10% delle emissioni di gas serra che non possono essere mitigate dalla decarbonizzazione all'interno del settore. Devono anche controbilanciare l'impatto del riscaldamento di forzanti climatici di breve durata come la nuvolosità indotta dall'aviazione. Le soluzioni CDR includono:

---

<sup>25</sup> V. Undavalli *et al.*, «Recent advancements in sustainable aviation fuels», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 136. Elsevier Ltd, gennaio 2023

<sup>26</sup> «RefuelEU: Policy considerations: Overview».

<sup>27</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

- Soluzioni per il clima naturale (NCS): ripristino degli ecosistemi naturali (ad es. foreste, torbiere) e migliore gestione dell'uso attuale del suolo
- Soluzioni ibride: Biochar (bruciare la biomassa in assenza di ossigeno per rallentarne la decomposizione) e bioenergia, cattura e stoccaggio del carbonio (BECCS, per produrre energia dalla biomassa e quindi catturare e immagazzinare la CO<sub>2</sub> prodotta)
- Soluzioni ingegneristiche: cattura e stoccaggio diretto del carbonio nell'aria (DACCS)

Le soluzioni CDR saranno necessarie per colmare il divario di emissioni che rimane anche in scenari di decarbonizzazione settoriale ambiziosi. A livello globale, un bilancio del carbonio di 1,5°C di 500 Gt CO<sub>2</sub> tra il 2020 e il 2050 si confronta con le emissioni cumulative di 570–725 Gt CO<sub>2</sub> anche in scenari ambiziosi di riduzione di CO<sub>2</sub> all'interno del settore, lasciando un gap di 70–225 Gt CO<sub>2</sub>. Questo superamento deve essere coperto da soluzioni CDR, ma il potenziale complessivo e in particolare l'aumento a breve termine delle soluzioni CDR sono limitati. Il ridimensionamento del CDR a tali livelli richiederà un finanziamento attuale di circa \$ 10 miliardi/anno per aumentare di un fattore 20 fino al 2030. Su tale traiettoria, le soluzioni CDR potrebbero rimuovere circa 165 Gt CO<sub>2</sub> dall'atmosfera tra il 2020 e il 2050<sup>28</sup>. Nei prossimi anni, la misurazione e la contabilizzazione delle soluzioni CDR devono migliorare in un mercato attualmente immaturo.

### **Quadro di sintesi sulle alternative di decarbonizzazione**

SAF è ampiamente accettata come la soluzione più promettente per decarbonizzare l'aviazione a breve termine. I SAF sono sintetizzati da materie prime sostenibili e rinnovabili come rifiuti urbani, rifiuti agricoli, forestali e lipidi dei rifiuti. Ha il potenziale per ridurre l'impronta di carbonio del 50-80%. SAF è un carburante drop in il che significa che può essere utilizzato negli aerei senza alcun cambiamento nel design e nell'architettura del motore. Ci sono altre tecnologie come l'idrogeno e l'elettricità, entrambe promettenti ma che richiedono investimenti in ricerca e sviluppo nella progettazione di aeromobili e nella tecnologia di produzione. Per non parlare del fatto che la produzione su larga scala di elettricità e idrogeno in modo sostenibile è una sfida e consuma molta terra. Questo rende SAF un candidato ideale per quick wins nella decarbonizzazione del settore dell'aviazione. L'industria sta attualmente investendo nella produzione e nel trasporto su larga scala di SAF. Entrambi questi aspetti sono stati impegnativi per l'industria a livello globale. Anche se il volume di SAF prodotto nel 2022 è stato circa il doppio di quello prodotto nel 2021, il mondo ha

---

<sup>28</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C Aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY (technical appendix) / JULY 2022».



appena prodotto lo 0,1% di SAF – del totale della produzione di carburante per aerei – nell'anno 2022<sup>29</sup>. Anche il costo del SAF è generalmente ammesso essere almeno il doppio del costo del carburante tradizionale per aerei. Tale contesto rende indispensabile l'intervento politico per la decarbonizzazione del settore, in quanto sono necessarie misure volte a rendere economicamente sostenibile il mercato SAF.

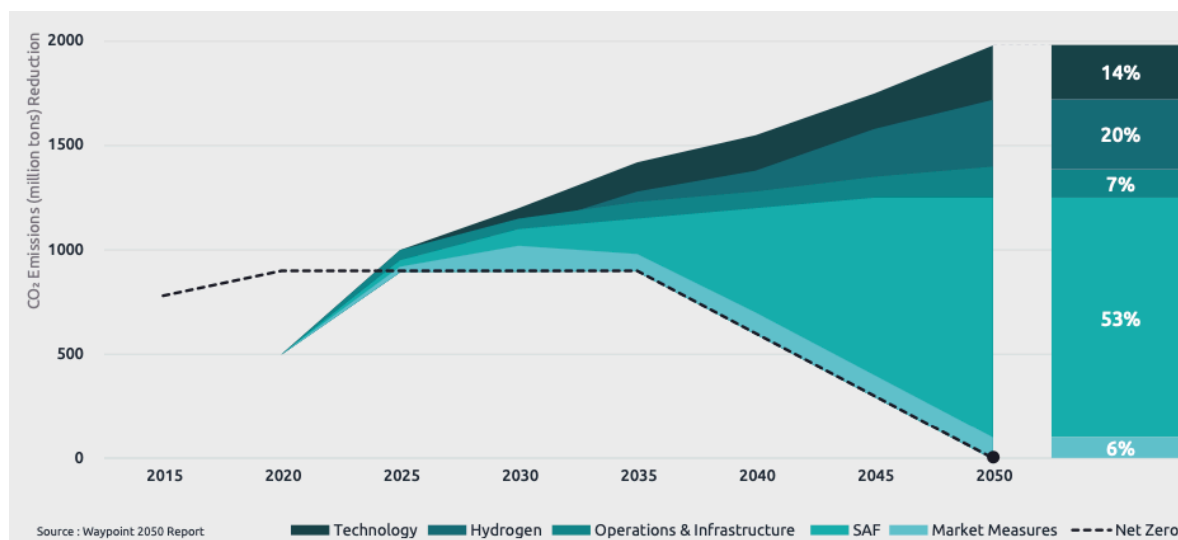


Figura 10- Valutazione alternative di decarbonizzazione; Fonte: Capgemini Invent, «Identifying sustainable pathways for SAF production».

Table 2- Quadro di sintesi

	SAF	HYDROGEN CELL	HYDROGEN TURBINE	ELECTRICITY
<b>RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub><sup>1</sup></b>	Riduzione del 50-80%	Riduzione del 58-90%		Riduzione del 49-88%.
<b>PROGETTAZIONE AEREA</b>	Adattamenti minori	Importanti adattamenti		Importanti adattamenti
<b>GAMMA AEREI</b>	Tutti i segmenti	Voli di breve durata	Tutti i voli meno di 10000km	Voli di breve durata
<b>OPERAZIONI AEROPORTUALI</b>	Stessi tempi di consegna	~tempi di consegna 2 volte più lunghi (voli di breve durata)	~tempi di consegna 3 volte più lunghi (voli di lunga durata)	Stessi tempi di consegna
<b>INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI</b>	Stesse infrastrutture	Struttura per trasportare e stoccare idrogeno liquido		Punti di carica e sistema di trasferimento batterie
<b>COMPARAZIONE DEI COSTI</b>	~ 2 volte rispetto al tradizionale carburante per jet	1,2x-1,4x rispetto al tradizionale carburante per jet		0,7 volte rispetto al tradizionale carburante per jet

<sup>29</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

### Sezione 3: SAF

Come parte del pacchetto “Fit For 55” per rendere le politiche dell'UE adatte agli obiettivi climatici dell'UE, il 9 ottobre 2023 la Commissione europea ha presentato una proposta per aumentare la produzione e l'uso di combustibili sostenibili nell'aviazione, con l'iniziativa ReFuelEU Aviation. Nel progetto di regolamento, la Commissione propone di imporre obblighi ai fornitori di carburante di distribuire combustibili per l'aviazione sostenibili (SAF) e di aumentare la quota di SAF (compresi i combustibili per l'aviazione sintetici, noti anche come combustibili rinnovabili di origine non biologica (RFNBO)) nel tempo<sup>30</sup>.

I carburanti sostenibili coinvolti nella regolamentazione europea sono riconducibili a tre categorie: biofuels, biofuels avanzati e carburanti sintetici. I biofuels vengono definiti nella direttiva RED II nella parte B dell'annex IX e possono essere prodotti a partire da oli esausti o grassi animali, tali carburanti garantiscono una riduzione delle emissioni che può raggiungere l'85%. I biofuels avanzati sono invece prodotti a partire da residui forestali o agricoli, da alghe o da bio-waste. La loro definizione è presente nella parte A dell'annex IX della direttiva RED II. La riduzione di emissioni garantita da questi carburanti è superiore rispetto ai biofuels offrendo un risparmio massimo che può raggiungere il 94% delle emissioni. I carburanti sintetici, anch'essi trattati all'interno della direttiva RED II, consentirebbero la riduzione del 100% delle emissioni considerando la cattura diretta della CO<sub>2</sub>. Tali carburanti sono prodotti attraverso la conversione H<sub>2</sub> dell'elettricità rinnovabile in idrocarburi liquidi, attraverso l'elettrolisi dell'acqua per produrre idrogeno verde, seguita da una sintesi con CO<sub>2</sub> (con la CO<sub>2</sub> catturata dall'aria che offre la maggior parte dei risparmi sulle emissioni).

La definizione di sostenibilità nel contesto di SAF è definita da ATAG come "qualcosa che può essere continuamente e ripetutamente finanziato in modo coerente con gli obiettivi economici, sociali e ambientali, in particolare qualcosa che conserva un equilibrio ecologico evitando l'esaurimento delle risorse naturali e non contribuire al cambiamento climatico"<sup>31</sup>. La sostenibilità non si limita quindi alla riduzione dei gas a effetto serra, ma tiene conto anche del cambiamento di uso del suolo (LUC) e degli impatti socioeconomici. Alcune materie prime per la produzione di biocarburanti sono generalmente coltivate su terreni coltivati che possono essere utilizzati anche per la produzione di alimenti o mangimi. È importante garantire che la produzione non sia in concorrenza con queste risorse primarie. LUC si verifica quando i biocarburanti causano modifiche nell'uso del suolo (ad esempio da foresta a coltura) nello stesso terreno coltivato in cui viene coltivato il biocarburante

---

<sup>30</sup>JaanSoone and Eulalia Claros Members' Research Service; PE 729.333 - March 2022 EPRS | European Parliamentary Research Service

<sup>31</sup> ATAG, 2017

(LUC diretto) o altrove (LUC indiretto) a causa, ad esempio, di vincoli di domanda e offerta. Ciò può causare alla fine emissioni indirette dovute alla perdita di CO<sub>2</sub> cattura mediante fotosintesi da parte di ex alberi o a causa del rilascio di CO<sub>2</sub> immagazzinata negli alberi o nel suolo risultante dall'eliminazione di terreni ad alto stock di carbonio come le foreste per la produzione di colture di biocarburanti. Uno dei modi principali per mitigare il rischio di cambiamento dell'uso del suolo è utilizzare residui, materiali di scarto e sottoprodotti per la produzione di carburanti sostenibili<sup>32</sup>.

## **Certificazione**

Ogni combinazione di materia prima e processo di produzione SAF deve essere certificata dall'American Society for Testing and Materials (ASTM), per garantire il funzionamento sicuro dei voli con le attuali tecnologie di velivoli e motori. Il carburante deve soddisfare le specifiche ASTM per poter essere utilizzato nella flotta esistente. Attualmente, otto processi di conversione sono stati certificati per l'uso nell'aviazione commerciale. Due dei percorsi tecnologici e delle materie prime associate sono approvati per produrre SAF attraverso il co-processing. Attualmente tutti i carburanti approvati secondo ASTM D7566 sono stati certificati per un limite massimo di miscelazione compreso tra il 10% e il 50%, con la maggior parte dei carburanti che soddisfano il limite del 50%<sup>33</sup>. Inoltre, la co-lavorazione di materie prime rinnovabili con distillati medi derivati dal petrolio greggio nelle raffinerie di petrolio è stato aggiunto all'allegato A1 di ASTM D1655<sup>34</sup>.

## **Panoramica del processo di certificazione**

Per essere "drop-in ready", i SAF devono soddisfare le qualità e le caratteristiche del carburante per aerei convenzionale. Lo standard internazionale più utilizzato per definire il carburante a base di cherosene utilizzato nell'aviazione commerciale è il D1655, Standard Specification for Aviation Turbine Fuels di ASTM International, che stabilisce i requisiti necessari per soddisfare sia Jet A che Jet A-1, il primo essendo il carburante utilizzato negli Stati Uniti (USA), mentre il secondo è predominante nel resto del mondo.

Il processo per ottenere la certificazione di un nuovo carburante per aviazione per uso commerciale è complesso e rigoroso ed è definito da ASTM D4054, Standard Practice for Qualification and

---

<sup>32</sup> «Destination 2050-A route to net zero European aviation Preface». [Online]. Disponibile su: <https://www.ecac-ceac.org/member-states>

<sup>33</sup> D. Chiramonti, «Sustainable aviation fuels: The challenge of decarbonization», in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2019, pagg. 1202–1207. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.308.

<sup>34</sup> Eduardo Cabrera e João M. Melo de Sousa, «Use of Sustainable Fuels in Aviation—A Review». *Energies* **2022**, 15,2440. <https://doi.org/10.3390/en15072440>

Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives, un processo di prova in tre fasi e quattro livelli che regola le specifiche del carburante drop-in e può essere utilizzato nell'aviazione commerciale fino al rapporto di miscelazione approvato.

Il metodo completo e meticoloso stabilito da D4054 richiede diversi volumi di carburante in ogni diverso livello e il processo di 3-5 anni ha un costo di almeno \$ 5 milioni sui produttori di carburante candidati. Questo iter per la certificazione risulta, per tempi e i costi sopra citati, un ostacolo verso il dinamismo del mondo SAF che ha il ruolo di accompagnare l'aviazione verso una transizione ecologica nei primi anni di questo processo.

Con l'obiettivo di affrontare questo problema e promuovere e accelerare la ricerca, nel gennaio 2020 ASTM ha approvato un Fast Track Annex al D4054<sup>35</sup>, ma i nuovi carburanti approvati nell'ambito di questo processo sono limitati a una percentuale di miscela del 10%.

## Processi approvati

Table 3- Processi SAF certificati (Fonte: Report destination 2050)

Stato certificazione ASTM	Processo	Materie Prime	Limite di miscelazione
Approvato sotto ASTM D7566	Sintetico Fischer-Tropsch Cherosene paraffinico (FT-SPK)	Biomasse come rifiuti solidi urbani (RSU), rifiuti agricoli e forestali, colture legnose ed energetiche.	50%
Approvato sotto ASTM D7566	Esteri idrotrattati e acidi grassi sintetici Cherosene paraffinico (HEFA SPK)	Grassi, oli e grassi vegetali e animali (FOG)	50%
Approvato sotto ASTM D7566	Fermentato idroprocessato Zuccheri a sintetico Isoparaffine (HFS-SIP)	Zuccheri	10%
Approvato sotto ASTM D7566	Sintetico Fischer-Tropsch Cherosene paraffinico con Aromatici (FT-SPK/A)	Biomasse come RSU, rifiuti agricoli e forestali, legno e colture energetiche.	50%
Approvato sotto ASTM D7566	Alcool a cherosene paraffinico sintetico a getto (ATJ-SPK)	Amidi, zuccheri, biomasse cellulosiche	50%
Approvato sotto Allegato A1 dell'ASTM D1655	Co-lavorazione di materie prime rinnovabili con distillati medi derivati dal petrolio greggio nelle raffinerie di petrolio.	Lipidi rinnovabili (grassi vegetali e animali)	5%
Approvato sotto ASTM D7566	Idrocarburi idrotrattati, esteri e acidi grassi Cherosene paraffinico sintetico (HHC-SPK o HC-HEFA-SPK)	Idrocarburi bioderivati (triterpeni prodotti dalla specie di alghe Botryococcus braunii), esteri di acidi grassi e acidi grassi liberi	10%
Approvato sotto ASTM D7566	Idrotermolisi catalitica cherosene sintetizzato (CH-SK o CHJ)	Acidi grassi ed esteri di acidi grassi, o più in generale vari	50%

<sup>35</sup> Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative® (CAAFI) Certification-Qualification Team; D4054 Fast Track Annex

		lipidi che provengono da grassi, oli e grassi vegetali e animali (FOG)	
Test di fase 2	Idro-deossigenazione Cherosene sintetico (HDO-SK)	Zuccheri e cellulosici	Da determinare
Test di fase 2	Idro-deossigenazione Cherosene aromatico sintetico (HDO-SAK)	Zuccheri e cellulosici	Da determinare
OEM di fase 1 Revisione	Alto punto di congelamento Esteri idrottrattati e Acidi grassi sintetici Cherosene (HFP HEFA-SK)	Grassi vegetali e animali rinnovabili, oli e grassi	Da determinare
Fase 1 Ricerca Rapporto	Idropirolisi e idroconversione integrate (IH2)	Molteplici	Da determinare
Test di fase 1	Sintetico da alcool a getto Cherosene con aromatici (ATJ-SKA)	Zuccheri e lignocellulosici	Da determinare

### Limite di miscelazione

Quasi tutto il SAF oggi disponibile è paraffinico e privo di altri composti di idrocarburi come gli aromatici, avendo quindi proprietà diverse dal carburante per aviazione convenzionale. Attualmente questi carburanti non sono consentiti per l'uso nella loro forma pura sugli aerei passeggeri principalmente per due motivi:

- Le guarnizioni in nitrile esistenti su tubazioni del carburante, valvole e serbatoi devono fare affidamento sugli aromatici del carburante per aviazione convenzionale per rimanere integri ed evitare perdite.
- Gli aeromobili hanno sistemi di misurazione del carburante calibrati con un fluido che ha un intervallo specifico di densità, permittività elettrica ed energia specifica che è leggermente diverso da quello del SAF paraffinico. Per questo motivo, il SAF paraffinico deve essere miscelato con una quantità sufficiente di carburante per aviazione convenzionale fino a quando non viene soddisfatta la composizione chimica in modo che la miscela possa essere certificata come carburante per aerei. Per questo motivo l'Energy Institute EI/ JIG Standard 1533 definisce questo SAF come un "componente di miscela sintetica".

Queste sfide tecnologiche possono essere adeguatamente affrontate nei prossimi aerei. I maggiori produttori di aeromobili hanno dichiarato che tutti i loro prodotti civili saranno compatibili con SAF paraffinico al 100% entro il 2030, una pietra miliare chiave identificata nella roadmap e una necessità assoluta per raggiungere l'azzeramento netto delle emissioni di CO2 entro il 2050. Attualmente, la maggior parte dei SAF certificati può essere miscelata con carburante fossile convenzionale fino al 50% in volume, come regolato dallo standard ASTM D7566 di ASTM International. Si prevede che

i limiti del 50% vengano revocati prima che venga effettivamente raggiunto un tasso di miscelazione SAF a livello di sistema del 50%, il che dovrebbe avvenire solo alla fine degli anni '30. D'altra parte, diverse compagnie aeree stanno già sperimentando il ridimensionamento dei SAF in contesti commerciali. Rolls-Royce ha annunciato che tutti i suoi motori "Trent" si saranno dimostrati compatibili con il 100% SAF entro il 2023. GE, Safran e Pratt & Whitney hanno annunciato che puntano a una compatibilità 100% SAF, mentre anche Airbus, Boeing ed Embraer mirano alla certificazione del 100% di SAF non miscelato entro il 2030<sup>36</sup>.

## Logistica dei SAF

Un ulteriore aspetto critico relativo alla gestione della filiera SAF è quello relativo alla logistica ed in particolare al blending. La figura 11 riassume la catena di approvvigionamento per i SAF, evidenziando i possibili stadi a cui è possibile eseguire la miscelazione:

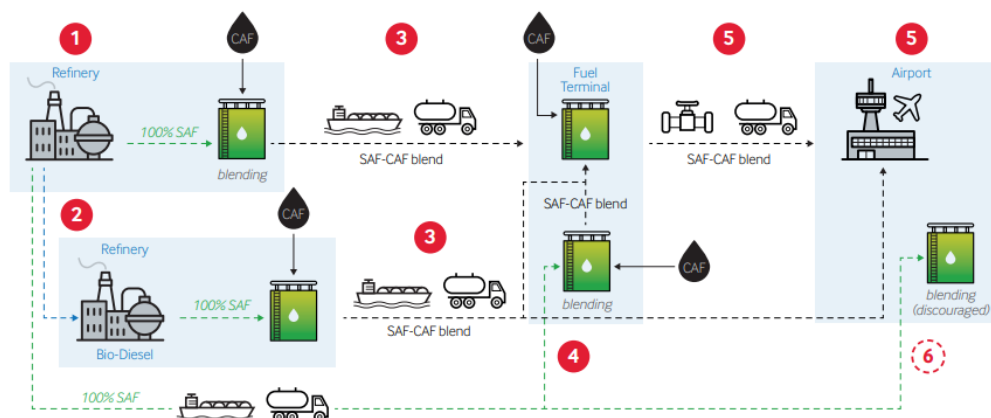


Figura 11: Schema della supply chain di SAF. (Fonte: Airport Council International e Aerospace Technology Institute)

Con riferimento alla figura, le macrofasi della supply chain possono essere così sintetizzate:

1. I feedstock sono direttamente trasformati in SAF o in olii intermedi.
2. In caso di olii intermedi, questi vengono trasferiti ad altre raffinerie per completare la trasformazione.
3. Se la raffineria ha a disposizione l'infrastruttura per il blending e accesso a CAF, il blending può essere eseguito direttamente in loco.
4. Se ciò non è possibile, il SAF può essere trasportato presso i terminali di carburante (fuel terminals), dove può poi essere eseguito il blending.
5. Il blend può poi essere trasportato in aeroporto per l'utilizzo.
6. Il blending in aeroporto, per quanto teoricamente fattibile, è tecnicamente sconsigliato, dati i maggiori costi, rispetto all'utilizzo di infrastrutture già esistenti.

<sup>36</sup> «Aircraft Technology Net Zero Roadmap 2». [Online]. Disponibile su: [www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org)

La miscelazione può avvenire in tre siti lungo la catena, partendo dall'inizio del processo. È bene sottolineare che, ad oggi, i SAF non possono essere trasportati tramite le già esistenti condutture per il trasporto di carburante tradizionale<sup>37</sup>.

1. Raffineria: ha un vantaggio di efficienza della miscelazione (i.e., grandi volumi) ma ha lo svantaggio di rendere costoso il trasporto, anche sulla base del numero e della localizzazione degli aeroporti serviti. Soluzione consigliata per grandi volumi.
2. Aeroporti: a causa del vincolo di trasporto attualmente vigente, il costo di trasporto di SAF si ridurrebbe (potendo in questo caso utilizzare le condutture per il carburante tradizionale e sfruttare al massimo il trasporto su strada per il SAF); allo stesso modo però, la miscelazione in aeroporto risulterebbe più costosa in relazione ai minori volumi processabili.
3. Terminali dedicati (Fuel Terminals): questa soluzione intermedia risolve parzialmente il problema del trasporto dalla raffineria e della miscelazione in aeroporto, ma è sottoposta al rischio di limitazione di capacità in previsione degli aumenti di domanda. Soluzione consigliata per piccole e medie reti di aeroporti<sup>38</sup>.

Molti aeroporti ricevono il carburante per l'aviazione principalmente attraverso oleodotti da raffinerie o da stazioni di miscelazione. È, pertanto, essenziale che le parti responsabili di tali oleodotti cooperino e adottino tutte le misure necessarie per far sì che i fornitori di carburante per l'aviazione godano di un accesso continuo e ininterrotto all'infrastruttura affinché siano forniti anche i carburanti per l'aviazione contenenti percentuali di carburanti sostenibili per l'aviazione<sup>39</sup>.

## **Processi SAF**

Il carburante per l'aviazione sostenibile (SAF), l'idrogeno e l'elettricità hanno tutti un ruolo da svolgere nella decarbonizzazione dell'aviazione. Il SAF è di vitale importanza in quanto può affrontare la decarbonizzazione del carburante nel suo ciclo di vita, e questo è ora disponibile per essere utilizzato in tutti i motori a turbina, compresi gli aerei a medio e lungo raggio. Pertanto, la comprensione del panorama delle materie prime e dei percorsi tecnologici è parte integrante per massimizzare la produzione e la fornitura di SAF.

Attualmente, diversi percorsi sono certificati dall'ASTM per la produzione di SAF e la miscelazione con il convenzionale carburante per aviazione. Questi percorsi si basano sull'utilizzo di diverse

---

<sup>37</sup> Airport Council International e Aerospace Technology Institute, "Integration of sustainable aviation fuels into the air transport system", 2022. <https://www.ati.org.uk/wp-content/uploads/2022/06/saf-integration.pdf>

<sup>38</sup> Antonio Barchi *et al.*, «Sustainable Aviation Fuels Stato dell'arte, andamento del mercato e iter legislativo-Report anno 1».

<sup>39</sup> ReFuelEU Aviation 2021/0205 (COD) LEX 2265

materie prime, tra cui biomassa lignocellulosica, materiali amidacei, zuccheri, materiali di scarto industriale e trigliceridi.

I percorsi di produzione SAF più comuni sono classificati nelle seguenti categorie: da gas a carburanti per jet (come il processo GFT), olio per jet fuel (come i processi HEFA), zucchero per jet fuel (come i processi DSHC) e l'alcohol to jet (AtJ). I dettagli di questi percorsi sono descritti nella Figura 12<sup>40</sup>.

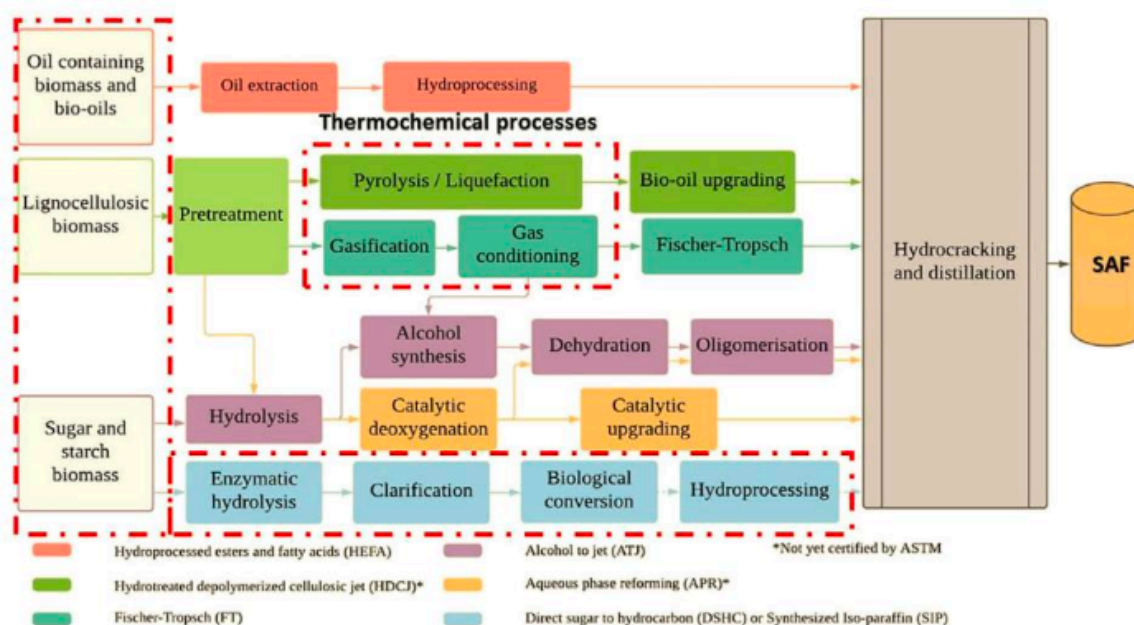


Figura 12-Principali percorsi di produzione SAF; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

### Hydroprocessing di esteri e acidi grassi (HEFA)

L'idrotrattamento di esteri e acidi grassi (HEFA) è attualmente la più popolare ed economicamente sostenibile tecnologia per la produzione di carburante per aviazione sostenibile a causa dell'elevata resa del prodotto e della minimo prezzo di vendita di SAF. Il percorso HEFA è la tecnologia SAF più avanzata e frequentemente utilizzata. È una tecnologia certificata ASTM che converte i trigliceridi in cherosene paraffinico sintetico (SPK), noto anche come SAF.

È stato confermato che il SAF prodotto da questo percorso ha proprietà simili a quelle del convenzionale carburante per aerei. Oltre a ciò, il carburante HEFA ha un contenuto di zolfo inferiore, un contenuto aromatico inferiore e minori emissioni di anidride carbonica. Ha anche un indice di cetano più alto rispetto al carburante per aviazione convenzionale e può esserlo miscelato fino al 50% con carburante per aviazione convenzionale. HEFA offre anche la possibilità di produrre SAF su larga scala in un breve periodo.

<sup>40</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».



Il percorso HEFA comporta due processi principali<sup>41</sup>:

1. pretrattamento della materia prima e idrogenazione catalitica a produrre acidi grassi liberi (trigliceridi) e propano
2. l'idrodeossigenazione e la decarbossilazione processi per convertire i trigliceridi in alcani paraffinici a catena lunga (combustibili idrocarburici) in presenza di idrogeno.

Informazioni dettagliate sui percorsi di produzione di SAF tramite HEFA sono presentate nella Figura 13.

I trigliceridi sono comunemente generati da una varietà di fonti di materie prime (olio vegetale, alghe, olio da cucina usato e grassi animali). La materia prima utilizzata è anche una dei più importanti fattori che influenzano il prezzo minimo di vendita del carburante (MFSP) per biojet prodotto nel percorso HEFA. Long et al.<sup>42</sup> hanno valutato 20 diverse materie prime che possono essere utilizzate per la produzione di trigliceridi. Le materie prime considerate provenivano da olio vegetale (palmisto, cocco, ricino, mais, soia, colza, jatro pha, lino, girasole, colza, pennycress, arachidi, cartamo, senape, camelina e semi di cotone), grassi animali (grasso di maiale, grasso di manzo e grasso di pollo), microrganismi acquatici (alghe) e fonti di grasso (grasso giallo e marrone). I loro risultati mostrano che l'MFSP di SAF derivato dalle materie prime varia da \$ 3,8 a \$ 11,0 per gallone<sup>43</sup>. Va sottolineato che alcune colture oleaginose commestibili non sono adatte alla produzione di SAF a causa della competizione alimentare rispetto a quella energetica.

Diverse organizzazioni del settore aeronautico come Virgin Atlantic, Japan Airlines, Honeywell, Air China, Boeing, Etihad e molte altre hanno utilizzato il biocarburante prodotto da questo percorso per voli di prova. Fino ad ora, il percorso HEFA ha prodotto la stragrande maggioranza dei carburanti sostenibili per l'aviazione. Tuttavia, ci sono ancora alcune barriere che stanno limitando questo percorso come la disponibilità e il costo delle materie prime. La disponibilità di materie prime è spesso limitata e alcune di esse sono pericolose per l'ambiente. Inoltre, una conoscenza inadeguata del meccanismo del processo di conversione è uno dei maggiori ostacoli al percorso HEFA.

---

<sup>41</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

<sup>42</sup> Long, F., Zhang, X., Cao, X., Zhai, Q., Song, Y., Wang, F., Jiang, J., and Xu, J. (2020). Mechanism investigation on the formation of olefins and paraffin from the thermochemical catalytic conversion of triglycerides catalyzed by alkali metal catalysts. Fuel Process. Technol.

<sup>43</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

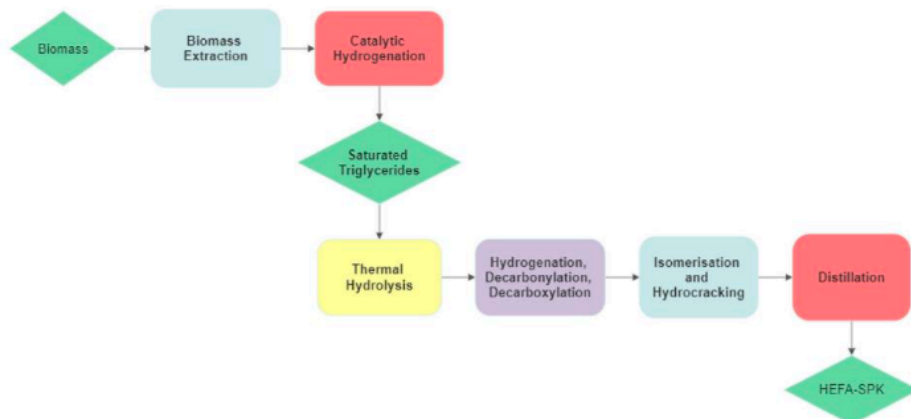


Figura 13- Processo Hydroprocessing di esteri e acidi grassi (HEFA) a SAF; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

La tecnologia HEFA è attualmente la più matura, con i carburanti HEFA che sono gli unici alternativa già utilizzata commercialmente (TRL 9). HEFA-jet è prodotto su base batch da diverse strutture su scala commerciale in tutto il mondo. Può essere miscelato fino al 50% con carburante convenzionale, ma recentemente sono state eseguite prove di volo con il 100% di HEFA. In particolare, leader dell'aviazione come Airbus, Rolls Royce e il Centro aerospaziale tedesco (DLR) ha lanciato il primo volo passeggeri commerciale 100% SAF con carburante HEFA fornito da Neste<sup>44</sup>.

Neste è uno dei principali produttori e presenta una capacità annua di 100 kt SAF e la produzione aumenterà a 1,5 milioni di tonnellate all'anno entro la fine del 2023. Il SAF di Neste è disponibile presso molti dei principali aeroporti, tra cui l'aeroporto internazionale di San Francisco (SFO), l'aeroporto di Heathrow (LHR), e l'aeroporto di Francoforte (FRA) ed è attualmente utilizzato da molte delle principali compagnie aeree commerciali tra cui KLM, Lufthansa, Delta e American Airlines. Esistono anche sinergie con i principali distributori di carburanti che forniscono al mercato il SAF di Neste<sup>45</sup>.

### **Hydroprocessed hydrocarbons, esters and fatty acids Synthesized paraffinic kerosene da alghe *Botryococcus braunii* (HC-HEFA-SPK)**

La filiera di produzione di combustibili da alghe è di recentissima approvazione (2020). Questa costituisce una variante del processo HEFA, basata su una tecnologia proprietaria proposta da IHI in partnership con New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). La

<sup>44</sup>Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* 2023, 16, 1904

<sup>45</sup> Neste Annual Report 2022

microalga sviluppata è una variante del *Botryococcus braunii* (Hyper-Growth *Botryococcus Braunii* - HGBb), che viene ritenuta capace di raggiungere un tenore finale di oli e idrocarburi pari al 50%. NEDO ha riportato che il processo (Figura 14) è stato ottimizzato per limitare l'input energetico. Una volta prodotta la miscela di oli ed idrocarburi, questi sono sottoposti ad una conversione analoga a quella per la tecnologia HEFA<sup>46</sup>.

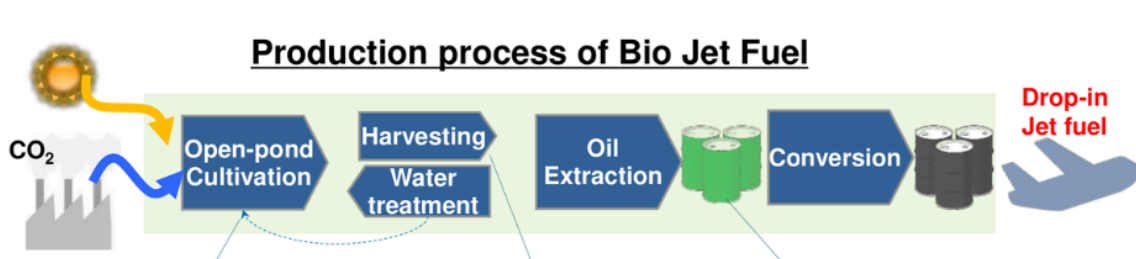


Figura 14-Schema del processo di produzione; Fonte: New Energy and Industrial Technology Development Organization.

È da sottolineare che l'uso di micro e macro-alghe per la produzione di combustibili alternativi è stato ampiamente investigato negli ultimi decenni. Questo per i numerosi vantaggi che queste offrono: anche non considerando le pubblicazioni che riportano elevatissime rese per ettaro, le alghe sono una coltivazione che può essere realizzata su terreni altrimenti non coltivabili e con acqua salata. Inoltre, come altre piante ma in modo più efficace, le alghe possono fissare significative quantità di CO<sub>2</sub>.

Dal punto di vista dei benefici ambientali, non vi sono ad oggi molte informazioni riguardanti questo processo. A livello ICAO la filiera è in fase di valutazione per la definizione di un LCA default value da usarsi per la fase pilota di CORSIA. Un recente lavoro<sup>47</sup> suggerisce che il potenziale di GHG risparmiato di questa filiera sia promettente, e competitivo con le filiere HEFA da oli vegetali tradizionalmente coltivati.

Essendo una coltivazione che deve essere realizzata in prossimità di grandi emettitori di CO<sub>2</sub>, in prossimità della costa, tale filiera potrebbe essere di interesse per un paese come l'Italia che ha alcuni rilevanti impianti di raffinazione che rispondono a tale caratteristica.

La tecnologia HEFA da alghe presenta TRL 7-8 e FRL: 5-6. Queste produzioni sono tecnologicamente abbastanza mature (impianti a scala rilevante ma non sufficiente a produzione per il settore fuels). Tuttavia, elementi di costo ne limitano lo sviluppo in modo significativo. Rimane

<sup>46</sup> Antonio Barchi *et al.*, «Sustainable Aviation Fuels Stato dell'arte, andamento del mercato e iter legislativo-Report anno 1».

<sup>47</sup> Prussi *et al.* (2021). Algae to aviation fuel: an estimation of the GHG emission performance. EUBCE.

comunque una filiera di interesse, anche a fronte di poter fissare quantità rilevanti di CO<sub>2</sub>, sia da flussi concentrati che dall'atmosfera (“direct air-capture”).

### **Gassificazione e processo Fischer-Tropsch (GFT)**

Il percorso di conversione GFT coinvolge sia la gassificazione, un processo termochimico che converte materiale biogenico in syngas che la sintesi di Fischer-Tropsch (FT). Quest'ultima è una tecnologia che converte il gas di sintesi in SAF liquido tramite processi di cracking catalitico. I principali processi nel percorso GFT sono il pretrattamento della biomassa, la gassificazione, la pulizia del gas, la rimozione del gas acido, la sintesi FT e il liquido di raffinazione del carburante sono le sei operazioni che compongono il percorso di produzione di GFT<sup>48</sup> come mostrato nella Figura 15.

La sintesi FT è un percorso che converte il syngas in combustibili liquidi attraverso processi di cracking catalitico. Il controllo della composizione del prodotto e la raffinazione dell'olio sintetico per raggiungere la gamma SAF è un'importante sfida durante il processo FT. I catalizzatori utilizzati per la sintesi FT includono cobalto (Co), ferro (Fe), nichel (Ni) e rutenio (Ru) per ottenere la resa, la composizione e la selettività del prodotto desiderate. Co e Fe sono i catalizzatori preferibili per il processo FT in quanto presentano la maggiore attività per la produzione di idrocarburi.

Numerosi ricercatori hanno prestato attenzione al percorso GFT perché i carburanti a base di idrocarburi prodotti sono simili ai carburanti convenzionali. Lo studio di valutazione del ciclo di vita ha dimostrato che l'implementazione del percorso GFT potrebbe portare a una significativa migrazione dell'economia di processo e una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, ha anche progettato un processo per la gassificazione e la sintesi Fischer-Tropsch di biomassa e plastica in carburante per biojet. Il potere calorifico, il punto di scorrimento, la densità, l'inflammabilità e la viscosità cinetica del carburante per biojet soddisfacevano lo standard ASTM D7566 mentre il processo produceva circa 1697,45 kg/h di SAF. Pereira, MacLean<sup>49</sup> hanno anche riferito che il percorso FT presenta rischi finanziari elevati e costi di capitale fissi più elevati rispetto a qualsiasi altro percorso di produzione di carburante per aerei. In letteratura sono riportati anche diversi studi sperimentali relativi all'utilizzo di catalizzatori mono e bifunzionali.

---

<sup>48</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

<sup>49</sup> Lucas G. Pereira, Heather L. MacLean, Brad A. Saville; Financial analyses of potential biojet fuel production technologies

Quando viene utilizzato negli aerei, il carburante FT ha pochi inquinanti, è privo di zolfo e azoto, ha un alto contenuto di energia specifica ed è termicamente stabile. Gli svantaggi del combustibile sono la sua bassa concentrazione aromatica e la bassa densità energetica, che si traducono in una bassa efficienza e alti costi di produzione per il processo. La fase più complicata è la produzione di syngas che deve avere un'elevata concentrazione di carbonio e idrogeno ed essere privo di catrame, cloro e zolfo per essere adatto alla sintesi FT. Sebbene la gassificazione della biomassa e la sintesi Fischer-Tropsch siano tecnicamente fattibili per la produzione di biocarburanti, la grande scala necessaria per una tecnologia finanziariamente valida richiederà grandi quantità di biomassa e alti costi di investimento.

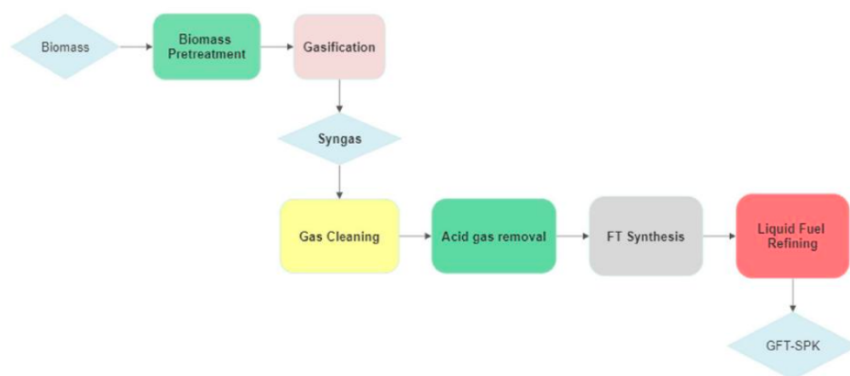


Figura 15- Processo GFT; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

Per quanto riguarda i carburanti Fischer–Tropsch, la gassificazione bio-based con sintesi FT è ormai prossima alla commercializzazione (TRL 7-8), mentre il jet fuel prodotto attraverso il percorso FT è stato certificato e può essere miscelato fino al 50% con cherosene fossile. La collaborazione tra British Airways e Velocys mira a realizzare il primo impianto commerciale Fischer–Tropsch BtL nel Regno Unito. Altri importanti impianti commerciali che si basano sulla produzione di liquidi FT utilizzando materie prime sostenibili si trovano negli Stati Uniti (vale a dire, Red Rock Biofuels, Sierra Biofuels)<sup>50</sup>.

### Da alcol a SAF (ATJ)

Il percorso alcool to jet (ATJ) comporta la conversione della biomassa in alcol e quindi la trasformazione dell'alcol in idrocarburi a catena lunga (SPK) che vengono utilizzati come carburante

<sup>50</sup>Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* 2023, 16, 1904

per l'aviazione. In sostanza, l'alcol prodotto dalla fermentazione biochimica e dalla conversione termochimica dei carboidrati lignocellulosici e dell'amido viene potenziato cataliticamente per produrre SPK.

Sono disponibili vari processi per convertire la biomassa in alcol. Gli amidi possono essere idrolizzati direttamente per produrre zucchero e gli zuccheri possono essere fermentati direttamente in alcoli utilizzando lieviti o microrganismi. Nel frattempo, la biomassa lignocellulosica può essere idrolizzata prima della fermentazione e/o idrolizzata prima di utilizzare qualsiasi altra procedura di conversione termochimica in grado di produrre l'alcool desiderato. In sostanza, altre materie prime sono meno complicate delle biomasse lignocellulosiche a causa della loro natura recalcitrante.

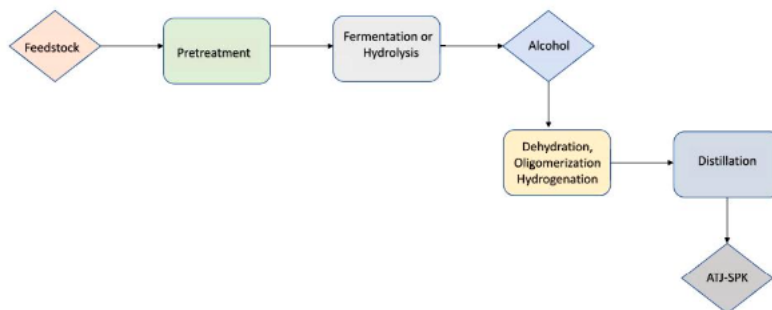


Figura 16-Percorso di reazione per la produzione di SAF tramite ATJ; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

Va sottolineato che le materie prime commestibili di prima generazione non sono preferibili per la produzione di alcol a causa della concorrenza tra cibo e carburante. Si prevede che i futuri progressi nelle tecnologie di conversione consentiranno la produzione di alcol senza l'uso di fonti alimentari.

Gli alcoli inferiori (C1-C3) possono essere prodotti dalla materia prima della biomassa attraverso diversi percorsi come la sintesi FT, la gassificazione, la termochimica o la fermentazione. Dati i vari processi che possono essere utilizzati per produrre alcol dalla biomassa, nel percorso ATJ possono essere utilizzati numerosi tipi di materie prime. Queste materie prime possono includere residui agricoli, segatura, zucchero arcano, residui forestali, barbabietola da zucchero, paglia, panico verga, chicchi di mais e molti altri.

I carburanti ATJ producono meno particolato e ossidi di zolfo e possono ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> durante il ciclo di vita almeno dell'80%. Il processo ATJ presenta MFSP più elevati, a causa dei minori rendimenti di conversione e dell'elevato costo della materia prima. L'MFSP per ATJ-SPK è attualmente superiore a quello di Jet A-1 e GFT-SPK nonostante migliori prestazioni in termini di utilizzo del carbonio ed efficienza termica. Un'analisi tecno-economica e ambientale è stata effettuata

sui percorsi FT e ATJ per la produzione di biocarburanti da RSU. La ricerca ha dimostrato che la creazione di carburante per biojet da RSU ha costi maggiori rispetto alla produzione di jet standard carburante. Tuttavia, FT e ATJ riducono le emissioni di gas serra del ciclo di vita rispettivamente del 63% e del 41%, se confrontate<sup>51</sup>. Entrambi mostrano anche un aumento del 93% del valore attuale netto come risultato della riduzione delle emissioni di gas serra.

I carburanti alcol to jet sono stati certificati da ASTM (cioè da etanolo e isobutanolo) e possono essere miscelati fino al 50%. Questo è un altro percorso che si sta avvicinando alla commercializzazione (TRL 7-8). Il suo successo economico dipende fortemente dalla flessibilità tecnologica. Nel 2018 Virgin Atlantic ha completato il primo volo commerciale con carburante AtJ prodotto da Lanzatech. Lanzatech è anche il fornitore di tecnologia del progetto FLITE che mira all'installazione del primo impianto di produzione AtJ in Europa su scala pre- commerciale. Nel 2012 e nel 2014, sia la US Air Force che la US Navy hanno utilizzato il bio-jet fuel prodotto dal percorso AtJ per condurre i primi test. Lanzatech, attraverso uno spin-off chiamato LanzaJet, punta ad essere tra i leader nel mercato emergente SAF. La tecnologia LanzaJet AtJ è in grado di processare qualsiasi fonte di etanolo sostenibile, compreso l'etanolo prodotto da rifiuti solidi urbani, residui agricoli, gas di scarico industriali e biomasse. British Airways acquisterà SAF dallo stabilimento statunitense di LanzaJet in Georgia per alimentare una serie di voli della compagnia aerea dalla fine del 2022. L'accordo prevede anche che LanzaJet conduca la pianificazione iniziale per una potenziale bioraffineria SAF commerciale su larga scala nel Regno Unito. Un altro attore chiave nel percorso AtJ è il produttore di combustibili rinnovabili del Colorado Gevo. I membri della Oneworld Alliance utilizzeranno il SAF di Gevo per le operazioni in California, inclusi gli aeroporti di San Diego, San Francisco, San Jose e Los Angeles International. La consegna del carburante dovrebbe iniziare nel 2027 per un periodo di cinque anni<sup>52</sup>.

### **Zucchero diretto agli idrocarburi (DSHC) SIP**

Lo zucchero diretto agli idrocarburi (DSHC) è un percorso di produzione biochimica per la produzione di SAF. Il DSHC è un percorso di conversione per convertire direttamente gli zuccheri in idrocarburi. Contrariamente al percorso AtJ, che richiede un intermedio alcolico, il percorso DSHC converte direttamente la materia prima zuccherina senza la necessità di un intermedio. I combustibili

---

<sup>51</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

<sup>52</sup>Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* 2023, 16, 1904

prodotti da questo percorso di conversione sono noti anche come iso-paraffine sintetizzate (SIP). Il SIP ha una specificazione distinta a causa della sua composizione elementare unica, che contiene almeno il 97% in peso di farnesene. Va sottolineato che il farnesene è una molecola di idrocarburo che funge da potenziale sostituto dei prodotti petrolchimici in diversi prodotti come diesel e SAF. Le materie prime utilizzate durante il percorso DSHC sono identiche alle materie prime utilizzate per produrre etanolo, tra cui canna da zucchero, barbabietole e mais. Dopo un appropriato pretrattamento, la biomassa lignocellulosica può anche essere utilizzata come materia prima per il percorso di conversione DSHC. Le operazioni di processo coinvolte nel percorso DSHC includono il pretrattamento della materia prima, l'idrolisi enzimatica, la raffinazione dell'idrolizzato, la conversione microbica, la separazione del prodotto e l'idrotrattamento. Generalmente, il percorso DSHC è costituito da quattro passaggi principali, come mostrato nella Figura 17. Questi passaggi includono il pretrattamento, che separa gli zuccheri dalla lignina; fermentazione o idrolisi enzimatica, che converte lo zucchero in farnesene; recupero del farnesene mediante separazione solido-liquido; e hydroprocessing, che converte il farnesene in farnesene (C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>), il carburante per biojet<sup>53</sup>.

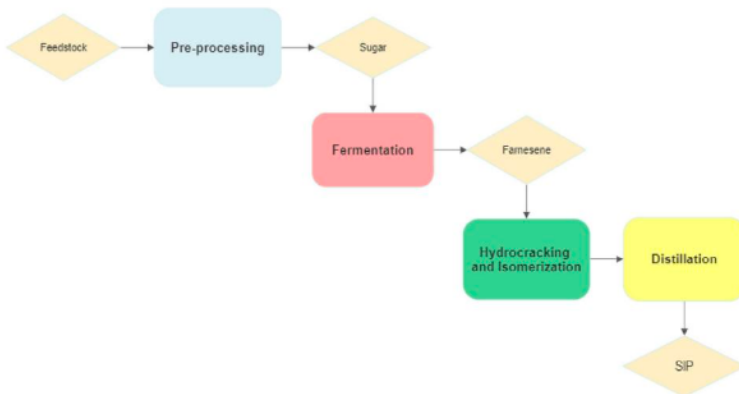


Figura 17-Percorso di produzione DSHC per la produzione SAF; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

A causa delle minori rese di conversione e dell'elevato costo di capitale della fermentazione dello zucchero lignocellulosico, i combustibili prodotti dal DSHC hanno un prezzo minimo di vendita del carburante (MFSP) più elevato. Pertanto, il percorso DSHC richiede ancora molto miglioramento e attualmente non è economicamente fattibile.

Per il SIP, ci sono due diversi percorsi di produzione. Il primo, che utilizza materie prime zuccherine convenzionali, è a livello pre-commerciale (TRL 7), mentre il secondo, basato su materie prime

<sup>53</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».



cellulosiche, è ancora a livello di prototipo (TRL 5). Il percorso certificato include la fermentazione dello zucchero fino al farnesene, che, dopo l'idrotrattamento a farnesano, può essere miscelato fino al 10% con cherosene fossile. Lufthansa ha effettuato un volo commerciale con una miscela di farnesane al 10% da Amyris/Total nel 2014<sup>54</sup>. Tuttavia, attualmente, i potenziali sviluppatori SIP tendono a rivolgersi ai mercati chimico, farmaceutico, alimentare e dei mangimi.

### **Co-processing of fats, oils, and greases (FOG) or Fischer Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery (co-processed HEFA – co-processed FT)**

Il co-processing, ossia la co-alimentazione di oli e grassi con greggio tradizionale in raffineria, è un processo già utilizzato per la produzione di combustibili alternativi stradali, ed approvato dall'ASTM nel 2018.

Le materie prime come oli vegetali o grassi sono introdotte nei tradizionali step del processo di produzione del cherosene (hydrotreating o hydrocracking), in un limite ammesso del 5% (Figura 18). La scelta del punto di inserimento nella raffineria dipende da diversi parametri, come il tipo di feedstock, la configurazione della raffineria e i tipi di prodotti combustibili desiderati. Considerando la configurazione tipica delle raffinerie dell'UE, il punto generalmente preferito è l'hydrotreater.

Come risultato del coprocessing, le varie frazioni prodotte dalla raffineria contengono percentuali variabili di contenuto biologico: gasolio, benzina, cherosene, olio combustibile pesante (HFO), gas di petrolio liquefatto (GPL), coke, gas combustibile, ecc. La quota di bicomponenti non è facile da rintracciare e per stimarla si utilizzano diversi metodi, come il bilancio energetico/di massa, i metodi di resa e le tecniche al radiocarbonio, ciascuno con specifici vantaggi e svantaggi.

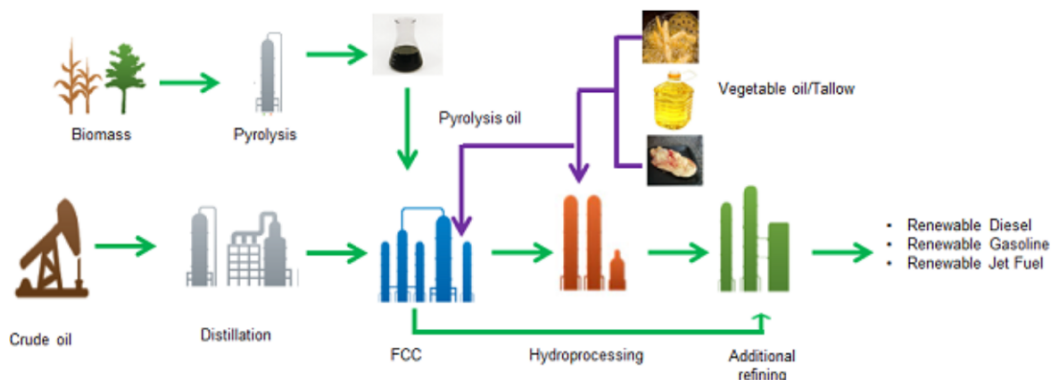


Figura 18-Schema del processo di coprocessing; Fonte: CARB22

<sup>54</sup>Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* 2023, 16, 1904

Di fatto il coprocessing di oli e grassi o di FT-waxes assieme al fossile tradizionale non è *per-se* un pathway specifico per la produzione di SAF, ma piuttosto da considerarsi una certificazione dell'uso di piccole quantità di materie prime di origine biologica, all'interno della raffineria tradizionale. Il coprocessing è riconosciuto nell'ASTM7566 sotto l'Annex A1<sup>55</sup>.

### **Pirolisi veloce (FP)**

FP è un processo di conversione termochimica che prevede la conversione della biomassa in solido, liquido e prodotti gassosi a temperature di trattamento di pirolisi moderate (400–600°C), rapide velocità di riscaldamento della materia prima (>100°C/ min), combinate con brevi tempi di permanenza (0,5–2 s). Anche il prodotto liquido di FP noto come bio-olio può essere ulteriormente aggiornato in carburante drop-in. Il bio-olio non può essere utilizzato direttamente come carburante drop-in a causa della presenza di ossigenati e di caratteristiche inadatte come instabilità termiche, corrosività e bassa densità di energia. Il bio-olio, pertanto, deve essere ulteriormente raffinato per soddisfare gli attuali standard SAF ed essere compatibile con gli attuali sistemi aeronautici.

Il percorso FP prevede due passaggi principali, come mostrato nella Figura 19:

- (1) La conversione termochimica diretta di biomassa/rifiuti per produrre un prodotto liquido (bio-olio)<sup>56</sup>;
- (2) l'ulteriore raffinazione del bio-olio in componenti SAF (idrocarburi) che soddisfano lo standard ASTM e possono essere utilizzati direttamente o miscelati con altri jet carburanti come FT-SPK e carburanti HEFA.

Diversi tipi di materie prime biogeniche possono essere utilizzati per il processo FP per la produzione di bio-olio e il successivo idrotrattamento in SAF<sup>57</sup>. Va detto che le tecnologie di pirolisi funzionano meglio con materie prime che hanno un contenuto di umidità ragionevolmente basso (<10% di contenuto di umidità). Di conseguenza, le materie prime umide devono essere essiccate e per materie prime particolarmente umide, come le alghe, il processo di pirolisi potrebbe non essere pratico a causa del fabbisogno energetico estremamente elevato per la rimozione dell'umidità.

---

<sup>55</sup> Antonio Barchi *et al.*, «Sustainable Aviation Fuels Stato dell'arte, andamento del mercato e iter legislativo-Report anno 1».

<sup>56</sup> Elissavet Emmanouilidou, Sophia Mitkidou, Agapios Agapiou, Nikolaos C. Kokkinos; Solid waste biomass as a potential feedstock for producing sustainable aviation fuel: A systematic review

<sup>57</sup> Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

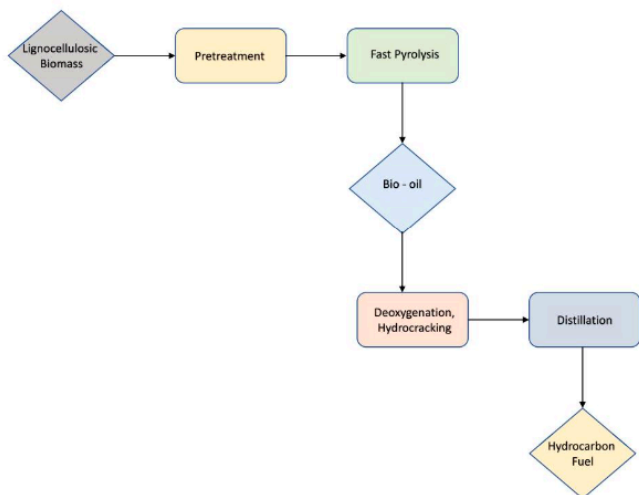


Figura 19- Percorso di pirolisi veloce per la produzione di SAF; Fonte: «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways».

## Power-to-Liquids (PtL) Percorsi di produzione

Esistono due percorsi stabiliti per la produzione di combustibili PtL: il percorso Fischer-Tropsch (FT) e il percorso del metanolo. Presentano somiglianze in quanto entrambi richiedono un apporto di CO<sub>2</sub> captato e di H<sub>2</sub>, quest'ultimo ottenuto per elettrolisi dell'acqua; da quel momento in poi, però, differiscono nel modo in cui gli idrocarburi vengono sintetizzati e trasformati in carburante. La Figura 20 presenta uno schema generico della filiera PtL. Il percorso Fischer-Tropsch richiede la produzione di syngas, il che costringerà, se si applica l'elettrolisi regolare per ottenere H<sub>2</sub>, a dover intraprendere un ulteriore passaggio per ridurre la CO<sub>2</sub> di origine a CO. Ciò può essere ottenuto attraverso un processo di reverse water-gas shift (RWGS). Dopo che il syngas è stato prodotto, le seguenti fasi rispecchiano quelle della produzione di biocarburanti attraverso la sintesi FT. A condizione che il processo FT impieghi catalizzatori di ferro o cobalto, ASTM non limita l'origine della materia prima per i carburanti FT drop-in, e quindi questo percorso può già essere utilizzato negli aerei commerciali fino al 50% di miscele.

Il percorso del metanolo è un'alternativa che, sebbene attualmente non ancora certificata da ASTM per la produzione di jet fuel, potrebbe presentarsi come un'opzione interessante per il settore dell'aviazione. Il metanolo è attualmente prodotto soprattutto da syngas, attraverso una sequenza di reazioni esotermiche, e richiede un rapporto stechiometrico H<sub>2</sub>/CO di 2 per la massima efficienza. Questo processo è ben consolidato e utilizzato a livello industriale. Ci sono stati, tuttavia, progressi nella conversione diretta da CO<sub>2</sub> a metanolo, che eliminerebbero la necessità di riduzione di CO<sub>2</sub> attraverso RWGS, e quindi migliorerebbero l'efficienza dei costi dell'intera linea di produzione. Tuttavia, ci sono ancora diverse sfide tecniche che devono essere affrontate nel prossimo futuro.

Il passaggio dal metanolo alla benzina (MtG) è un processo comune che viene utilizzato in altri settori, consentendo anche di ottenere altri combustibili distillati medi, in questo caso il cherosene. Anche i composti aromatici vengono generati attraverso questo processo, che è di estremo interesse e potrebbe contribuire al raggiungimento di specifiche di compatibilità del motore più elevate e a ricevere la certificazione per rapporti di miscelazione più elevati o, potenzialmente, la sostituzione totale del cherosene convenzionale<sup>58</sup>.

La produzione di idrogeno dall'elettrolisi dell'acqua è una fase fondamentale nel processo PtL, comune anche per il percorso FT e per quello del metanolo. Sebbene sia ancora lontano dall'essere il metodo più utilizzato industrialmente per ottenere H<sub>2</sub>, è un mercato in crescita ed è il processo più promettente per ottenere la produzione di idrogeno privo di carbonio.

## **Risorse**

Esistono tre risorse che possono essere viste come "materie prime" per la produzione di combustibili PtL: acqua, elettricità (rinnovabile) e CO<sub>2</sub>. L'acqua è necessaria per la produzione di idrogeno (1,3-1,4 litri di acqua per litro di carburante), così come per il raffreddamento e il riscaldamento durante le altre fasi. Sebbene la domanda sia sostanzialmente inferiore rispetto alla produzione di biocarburanti, possono emergere problemi di sostenibilità se, ad esempio, la fonte idrica utilizzata è in conflitto con i requisiti dei terreni agricoli e tali fattori devono essere valutati prima che eventuali futuri impianti su larga scala entrino in produzione. L'elettricità viene utilizzata lungo l'intera catena di processo, ma la maggiore richiesta di energia si verifica durante l'elettrolisi. Tuttavia, l'utilizzo di energia rinnovabile è ancora fondamentale affinché i combustibili PtL mostrino miglioramenti significativi nelle emissioni di gas serra. Sebbene gli attuali progetti PtL affrontino questo problema dimostrando una chiara tendenza verso l'inclusione di fonti energetiche rinnovabili, non vi è una chiara preferenza per quanto riguarda il tipo di tecnologia preferita. La cattura del carbonio può avvenire da fonti puntuali concentrate o direttamente dall'aria ambiente: cattura diretta dell'aria (DAC). Le fonti attualmente disponibili possono essere di origine fossile, ad esempio i gas di scarico industriali, o di origine rinnovabile come il gas da combustione di biomasse. La CO<sub>2</sub> di origine fossile non è una soluzione sostenibile a lungo termine, ma potrebbe essere interessante nel breve termine per dimostrare la produzione di scala. I gas di scarico dei processi industriali in cui la decarbonizzazione è uno sforzo particolarmente complesso, come le industrie del cemento o della pietra calcarea, potrebbero essere utilizzati per creare una cascata di CO<sub>2</sub>, un

---

<sup>58</sup> Eduardo Cabrera e João M. Melo de Sousa, «Use of Sustainable Fuels in Aviation—A Review». *Energies* 2022, 15,2440. <https://doi.org/10.3390/en15072440>

processo in cui la CO<sub>2</sub> proveniente da fonti non sostenibili viene riutilizzata prima di essere finalmente rilasciata in atmosfera. Tuttavia, questo processo aumenterebbe comunque i livelli di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, e quindi non è un'opzione realistica per il raggiungimento degli obiettivi futuri. Il DAC richiede che l'aria ambiente passi attraverso un filtro dove l'adsorbimento, l'assorbimento o la mineralizzazione rimuovono l'anidride carbonica<sup>59</sup>. Tuttavia, al momento questa è ancora una tecnologia poco sviluppata e sono in corso controversie sulla sua fattibilità per una produzione su larga scala a causa degli elevati costi operativi. Questi costi più elevati sono dovuti a requisiti energetici significativamente più elevati per DAC rispetto all'acquisizione di sorgenti puntiformi. La maggior parte dei progetti in corso ottiene anidride carbonica da impianti di biogas o biomasse.

### PtL pathways + Recycled carbon pathways

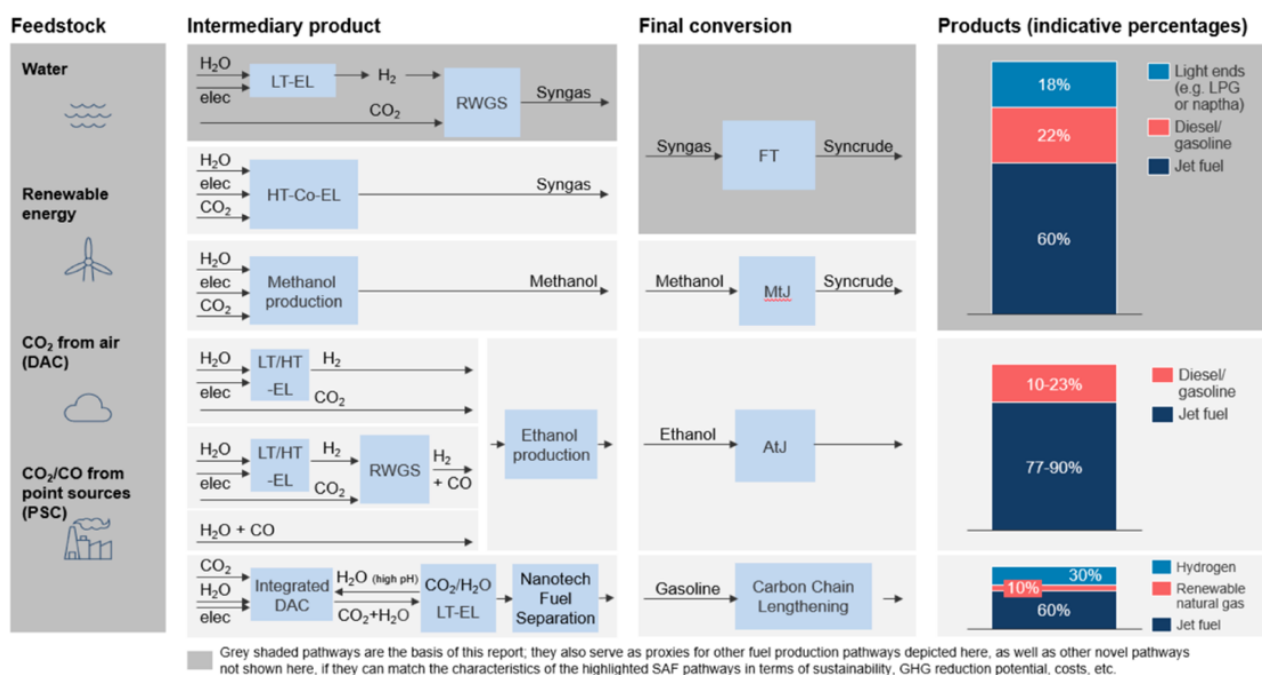


Figura 20- Schemi di produzione PtL; Fonte: Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"; Technical appendix

### TRL combustibili alternativi

Al fine di quantificare lo stato di sviluppo di una determinata tecnologia e processo è possibile far riferimento al concetto di maturità tecnologica, come definito a livello Europeo: Technology Readiness Level (TRL). Il TRL varia da 1 per la ricerca di base a 9 per un sistema dimostrato a scala commerciale. Nonostante il dinamismo del settore, solo poche tecnologie produttive sono ad oggi ad una maturità tale da costituire una reale opzione per gli operatori.

<sup>59</sup> Eduardo Cabrera e João M. Melo de Sousa, «Use of Sustainable Fuels in Aviation—A Review». *Energies* **2022**, *15*,2440. <https://doi.org/10.3390/en15072440>

Table 4- TRL percorsi SAF

SAF	Combustibile	Livello di maturità tecnologica (TRL) <sup>60</sup>	Attrazioni
Biocarburanti	HEFA	9	Test di volo di un jet passeggeri commerciale con carburante HEFA al 100% Proiezione per una produzione annua di 1,5 milioni di tonnellate entro la fine del 2023 (Neste) <sup>61</sup>
	Co-processing	8-9	È già in uso per la produzione stradale
	HEFA da alghe	7-8	United investirà nella produzione di SAF dalle microalghe, con una oartnership con Viridos, società specializzata nella bioingegneria delle microalghe.
	Combustibili FT	7-8	Creazione del primo impianto commerciale Fischer-Tropsch BtL nel Regno Unito (Velocys) <sup>62</sup>
	AtJ	7-8	Primo volo commerciale con carburante AtJ <sup>63</sup> British Airways acquisterà SAF dallo stabilimento statunitense di LanzaJet dalla fine del 2022 <sup>64</sup> I membri dell'alleanza Oneworld utilizzeranno il SAF di Gevo per le operazioni in California a partire dal 2027, per un periodo di cinque anni
E-carburanti	DSHC/SIP	5-7 (a seconda del tipo di zucchero)	Volo commerciale con miscela di farnesane al 10% da Amyris/Total (2014) <sup>65</sup>
	e-jet, e-metanolo	5-8 (a seconda della fonte di CO2)	Il primo impianto al mondo per la produzione di metanolo da carbonio riciclato da 110 kt/anno <sup>66</sup> "Green Fuels Hamburg" <sup>67</sup>

Sicuramente la tecnologia HEFA rappresenta oggi il processo più maturo, sia da un punto di vista tecnico che commerciale. Diverso è il caso del processo Fischer-Tropsch che, nonostante sia stato il primo ad essere certificato, non è ad oggi commercialmente sviluppato.

Svariati altri prodotti, come idrogeno e i cosiddetti *electrofuels*, sono da ritenersi ad oggi ancora ad uno stadio iniziale del loro sviluppo tecnico-commerciale<sup>68</sup>.

<sup>60</sup> Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* 2023, 16, 1904

<sup>61</sup> NESTE. NESTE MY Sustainable Aviation Fuel. Available online: <https://www.neste.com/products/all-products/saf#3468d8a8>

<sup>62</sup> <https://www.altalto.com>

<sup>63</sup> <https://www.lanzatech.com/>

<sup>64</sup> <https://mediacentre.britishairways.com/pressrelease/details/12796>

<sup>65</sup> <https://aireg.de/>

<sup>66</sup> <https://www.carbonrecycling.is/projects>

<sup>67</sup> Green Fuels Hamburg Plans SAF Production. *Renewable Energy Magazine*. 28 June 2022.

<sup>68</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».

## Contributo alla riduzione delle emissioni da parte dei SAF

Le riduzioni di gas serra nel ciclo di vita che possono essere ottenute con SAF rispetto ai combustibili fossili variano per lo più tra il 25 e il 95%. Le emissioni del ciclo di vita si riferiscono alle emissioni prodotte durante la produzione e il trasporto delle materie prime, la conversione in carburante, il trasporto e la distribuzione del carburante, compreso l'uso finale nel motore dell'aeromobile. Sommando tutte le emissioni dei singoli passaggi si ottengono le emissioni totali di GHG del combustibile. Questo approccio è chiamato valutazione del ciclo di vita (LCA). I valori cambiano a seconda della materia prima o del processo utilizzato per la produzione SAF.

La valutazione delle emissioni del ciclo di vita è più accurata quando vengono analizzate le singole filiere regionali. Tuttavia, i valori di riferimento per diversi processi di conversione e materie prime forniscono una buona indicazione della differenza tra percorsi e posizioni geografiche. A titolo di esempio, il report “Destination 2050”<sup>69</sup> mostra i valori predefiniti e la metodologia utilizzata dall'ICAO per i carburanti ammissibili CORSIA.

Nel giugno 2019, l'ICAO ha pubblicato l'analisi e la metodologia per calcolare le emissioni di gas serra del ciclo di vita per i combustibili idonei CORSIA, compreso l'effetto del cambiamento indiretto della destinazione del suolo (ICAO, CORSIA Eligible Fuels, 2019). La metodologia di valutazione del ciclo di vita calcola le emissioni di anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub>e) di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O dalle attività dal pozzo alla pompa (WTP) e le emissioni di CO<sub>2</sub> dalla combustione del carburante dal pozzo alla veglia (WTWa). I valori di default del ciclo di vita di base (senza tener conto del cambiamento di uso del suolo) sono riportati nella Tabella seguente.

Table 5-valori LCA per i carburanti ammissibili CORSIA. Fonte:ICAO

Processo di conversione	Materia prima	LCA gCO <sub>2</sub> e/MJ	% di risparmio di emissioni rispetto alla linea di base di cherosene fossile di 89 g CO <sub>2</sub> eq/MJ
Fischer-Tropsch (FT)	Residui agricoli	7.7	91%
	Residui forestali	8.3	91%
	Rifiuti Solidi Urbani (RSU), 0% NBC	5.2	94%
	RSU, NBC in % del totale C	NBC X 170,5+5,2	

<sup>69</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

	Colture legnose a rotazione rapida	12.2	86%
	Colture erbacee energetiche	10.4	88%
Esteri e acidi grassi idrotrattati (HEFA)	Sego	22.5	75%
	Olio da cucina usato	13.9	84%
	Distillato di acidi grassi di palma	20.7	77%
	Olio di mais	17.2	81%
	Olio di semi di soia	40.4	55%
	Olio di colza	47.4	47%
	Camelina	42	53%
	Olio di palma - stagno chiuso	37.4	58%
	Olio di palma - stagno aperto	60	33%
	Brassica carenata	34.4	61%
Sintetizzato IsoParaffine (SIP)	Canna da zucchero	32.8	63%
	Barbabietola da zucchero	32.4	64%
so-butanolo Alcool a getto (ATJ)	Canna da zucchero	24	73%
	Residui agricoli	29.3	67%
	Residui forestali	23.8	73%
	Chicco di mais	55.8	37%
	Colture erbacee energetiche	43.4	51%
	Melassa	27	70%
	Canna da zucchero	24.1	73%
	Chicco di mais	65.7	26%

#### Sezione 4: Feedstock

La produzione di SAF inizia con una delle cinque principali famiglie di materie prime: oli e grassi, zucchero e cereali, rifiuti solidi urbani, legno e residui agricoli, o energia rinnovabile e carbonio



(figura 21) utilizzati per sostituire una parte della materia prima del petrolio greggio<sup>70</sup>.

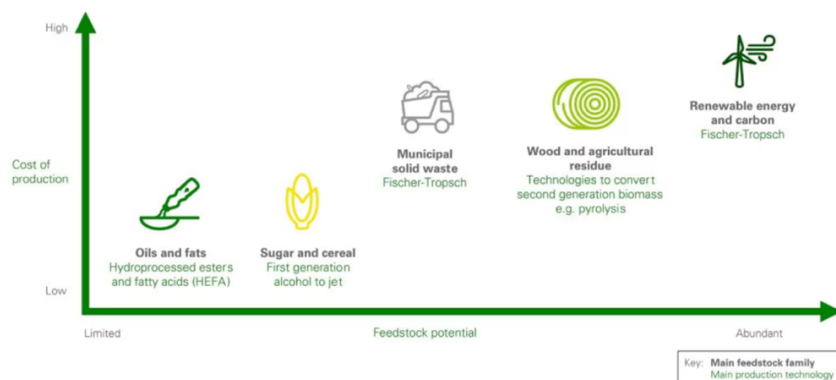


Figura 21- Le 5 principali famiglie di feedstock; Fonte: BP p.l.c

## Quantificazione delle materie prime

Sono stati presi in considerazione due diversi approcci per quantificare tali materie prime uno basato sulla loro disponibilità teorica l'altro su quella effettiva. La disponibilità teorica si riferisce alla materia prima disponibile per l'intero settore delle bioenergie, indipendentemente dal suo uso attuale, presuppone che tutta la massa disponibile della materia prima sia diretta verso produzione di carburante per aviazione sostenibile. La disponibilità effettiva delle materie prime, invece, si riferisce alla quantità di materia prima che soddisfa i seguenti criteri:

1. Sostenibile.
2. Facilmente disponibile per l'accumulo.
3. Considera la domanda concorrente di altri settori.
4. Conveniente e logisticamente fattibile.

Diversi studi sono disponibili in letteratura per la quantificazione di tali materie prime nell'UE<sup>71</sup>, come presentato nella Figura 22<sup>72</sup>. Le proiezioni teoriche esistono per il 2030 e 2050. In caso di disponibilità effettiva, sono disponibili solo le previsioni dei dati per il 2030. Secondo i dati riportati, la disponibilità di rifiuti FOG, residui agricoli, copertura raccolti e residui forestali

<sup>70</sup> BP p.l.c.; How all sustainable aviation fuel (SAF) feedstocks and production technologies can play a role in decarbonising aviation ([https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/how\\_all\\_sustainable\\_aviation\\_fuel\\_SAF\\_feedstocks\\_and\\_production\\_technologies\\_can\\_play\\_a\\_role\\_in\\_decarbonising\\_aviation.html](https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/how_all_sustainable_aviation_fuel_SAF_feedstocks_and_production_technologies_can_play_a_role_in_decarbonising_aviation.html))

<sup>71</sup> Prussi, M.; Panoutsou, C.; Chiramonti, D. Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand. Appl. Sci. 2022, 12, 740. [CrossRef]

<sup>72</sup> Panoutsou, K.C. Maniatis. Sustainable Biomass Availability in the EU, to 2050. 2021. Available online: <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf> (accessed on 22 November 2022).

utilizzati nel settore biologico dovrebbe aumentare nel 2050 rispetto al 2030<sup>73</sup>. Si prevede comunque che la frazione organica dei rifiuti solido urbano diminuiranno entro il 2050 a causa delle normative dell'UE volte a ridurre la produzione seguendo lo schema della gerarchia dei rifiuti<sup>74</sup>. L'obiettivo principale è sulle materie prime effettive, quelle che sono disponibili e potrebbero essere facilmente utilizzati per produrre SAF. Può essere visto che i residui agricoli, le colture di copertura e i RSU sarebbero ampiamente disponibili rispetto ai residui forestali.

Tipo di materia prima	Teorico Disponibile 2030 (Mt)	Teorico Disponibile 2050 (Mt)	Effettivo Disponibile 2030 (Mt)
Oli e grassi usati	5.3		2.4
<b>Frazione organica in RSU</b>	<b>44-80</b>		<b>21.2</b>
Residuo agricolo	45-65	65-71	
Colture di copertura	36-108	42-127	87.7
Residuo forestale primario	41-68	45-75	
Residuo forestale secondario	89-126	93-139	5.1

Figura 22- Disponibilità materie prime

## Valutazione delle materie prime

Tutti i percorsi che producono SAF richiedono materie prime sostenibili. Queste materie prime vanno dai rifiuti urbani alle colture coltivate appositamente. Mentre si raccomanda che la materia prima sia un prodotto di scarto o scartato, raramente è interamente un prodotto scartato. Ad esempio, i residui di grano sono già usati come foraggio per il bestiame, per fare lettiera e coltivare funghi. Se tutta la paglia di grano fosse invece deviata verso la produzione di biocarburanti, gli altri usi mancherebbero di materie prime e richiederebbero un aumento della produzione di materiali sostituibili<sup>75</sup>. Comprendere gli effetti di spostamento di una materia prima è fondamentale per garantire il risparmio di gas a effetto serra e determinare le quantità che possono essere deviate alla produzione di biocarburanti senza ridurre la disponibilità per l'uso in altre applicazioni. Tenendo conto di ciò, è necessario eseguire una corretta valutazione delle materie prime in termini di parametri agricoli, industriali, sociali e ambientali per la sua selezione per produrre SAF. Il mercato è complesso e diversificato con molti tipi di materie prime, distribuzioni geografiche e restrizioni all'esportazione. Pertanto, non tutte le materie prime sono disponibili per produrre SAF in tutte le regioni.

<sup>73</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», Sustainability (Switzerland), vol. 15, n. 12, giu. 2023

<sup>74</sup> EU. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2008/98/EC on waste. 2018. Available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/reaching-2030s-residual-municipal-waste> (accessed on 2 December 2022).

<sup>75</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

## AREAS TO ASSESS FEEDSTOCK FEASIBILITY



## KEY QUESTIONS TO ANSWER...

Question	Food for Thought
1 Which SAF Pathway to consider?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Based on technology maturity and cost feasibility</li> <li>Based on vision of climate goals per region</li> </ul>
2 Which feedstock to choose?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Which sustainable feedstock is available?</li> <li>Does feedstock drive social and economic competition?</li> </ul>
3 What ecosystem changes are necessary?	<ul style="list-style-type: none"> <li>SAF Logistics and Infrastructure operations</li> <li>What production capacity is needed to meet the target?</li> </ul>
4 How can governments support SAF production?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Value chain Stakeholder Harmonization</li> <li>Policies and grants to boost production</li> </ul>

Figura 23-Aree di impatto feedstock; Fonte: Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

## Valutare la disponibilità di feedstock in tutto il mondo

Il capitolo 2 del documento ICAO<sup>76</sup> sulla sostenibilità afferma quanto segue: "CORSIA SAF non sarà ricavata da biomassa ottenuta da terreni convertiti dopo il 1° gennaio 2008 che erano foreste primarie, zone umide o torbiere e/o contribuisce al degrado dello stock di carbonio nelle foreste primarie, nelle zone umide o nelle torbiere."

Se consideriamo la disponibilità di materie prime in tutto il mondo secondo la IATA, c'è abbastanza materia prima disponibile per produrre una quantità SAF che soddisfi l'obiettivo 2050<sup>77</sup>.

Regioni come il Sud America (Brasile) e l'Asia (India e Cina) sono i principali produttori di canna da zucchero nel mondo. La produzione totale di canna da zucchero ammontava a 1.859 milioni di tonnellate. Il solo Brasile ha prodotto 61 milioni di tonnellate nel 2021. Il Nord America, la Russia e parti d'Europa producono barbabietole da zucchero in grandi quantità. Nel 2021, la Federazione Russa ha prodotto 41 milioni di tonnellate di barbabietola da zucchero.

Il mais viene coltivato e consumato a livello globale in varie forme. Gli Stati Uniti<sup>78</sup>, la Cina, l'Africa e parti del Sud America sono grandi produttori di mais a livello globale. La melassa è un sottoprodotto derivato dopo la raffinazione della canna da zucchero. Questo è prodotto in luoghi in cui la canna da zucchero viene prodotta e lavorata in grandi quantità (Brasile e India).

<sup>76</sup> ICAO, 2023. Environmental policies on aviation fuels.

<sup>77</sup> «CORSIA SUPPORTING DOCUMENT CORSIA Eligible Fuels-Life Cycle Assessment Methodology»

<sup>78</sup> Food and Agriculture Organisation of the United Nations 2023

I residui agricoli sono residui di colture rimanenti che rimangono nel campo. In genere, le regioni agricole ad alta intensità hanno un grande stock di residui agricoli<sup>79</sup>. Paesi come l'India, la Cina, gli Stati Uniti, il Brasile, la Russia e parti d'Europa generano grandi quantità di residui agricoli. Allo stesso modo, i residui forestali sono generati in grandi quantità in regioni come Russia, Europa, India, Cina, Stati Uniti e Brasile.

L'olio di soia è prodotto a livello globale dalla soia. La produzione totale di olio di soia è stata di 59 milioni di tonnellate nel 2020. Cina, Stati Uniti e Brasile sono i migliori produttori. Allo stesso modo, l'olio di colza, che viene utilizzato nel processo HEFA, viene prodotto in grandi quantità in India, Cina, Canada e parti d'Europa<sup>80</sup>.

L'olio di girasole è prodotto in tutto il mondo da semi di girasole. La Russia è il più grande produttore di olio di girasole a livello globale. L'olio di palma è prodotto principalmente in Indonesia e in alcune parti dell'Asia (Cina) e del Sud America. Questa produzione si traduce in un significativo deposito di distillato di acido grasso di palma che sono sottoprodotti di questa industria. Questo viene utilizzato nel processo HEFA per produrre SAF.

I dati di produzione di MSW non sono registrati per tutti i paesi. Solo pochi paesi stimano la generazione e la raccolta di RSU. Paesi come gli Stati Uniti, la Cina, l'India, l'Australia e parti dell'Europa e del Sud America riportano la generazione di RSU. Il sego è un sottoprodotto generato dopo la lavorazione della carne bovina. Il Nord America è il più grande produttore di sego. Altre regioni includono parti dell'Asia, dell'Europa, del Sud America e dell'Australia.

La geopolitica e le limitazioni geografiche sono aspetti centrali nel confronto e l'analisi dell'idoneità di adattare uno specifico percorso SAF su larga scala. Questo parametro è stato aggiunto come riflesso delle recenti crisi energetiche causate dalla guerra russa in Ucraina. Considerando le materie prime utilizzate in ciascun percorso, si può vedere che HEFA, la lavorazione di oli con CO e CHJ-SKA sono suscettibili a serie preoccupazioni geopolitiche. Ciò deriva dal fatto che le materie prime utilizzate su tali percorsi non sono ampiamente disponibili nell'UE e dipendono dalle importazioni. L'UE importa circa il 50% del suo olio da cucina usato (UCO) dalla Cina, che dovrebbe svolgere un ruolo importante nella produzione di SAF. Pertanto, con la crescente tensione e la guerra commerciale tra Cina e Stati Uniti, e secondo l'ultimo documento di concetto strategico della NATO 2022 che si rivolge alla Cina, è giusto presumere che tale materia prima potrebbe essere facilmente compromessa

---

<sup>79</sup> Research Gate, 2022

<sup>80</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

in caso di sanzioni<sup>81</sup>. Pertanto, l'adattamento di tali processi su vasta scala potrebbe compromettere il settore dell'aviazione, poiché qualsiasi interruzione nella catena di approvvigionamento delle materie prime nella regione indo-pacifica paralizzerebbe l'industria. Tuttavia, tali preoccupazioni geopolitiche potrebbero avere un effetto positivo, poiché ciò aumenta la domanda di utilizzo di materie prime prodotte localmente e sostenibili per la produzione di SAF, il che avvicina l'UE all'indipendenza energetica. Una materia prima come l'UCO potrebbe essere raccolta e smistata dal mercato interno per la produzione di SAF. Tuttavia, ciò richiederà un investimento significativo nello sviluppo delle infrastrutture necessarie. D'altra parte, la maggior parte delle materie prime di petrolio greggio cresce in Asia orientale, Sud America, parti dell'Europa e Stati Uniti<sup>82</sup>. L'olio di palma è l'olio vegetale più consumato al mondo e potrebbe rappresentare una delle principali fonti di carbon leakage per l'UE nonostante il divieto assoluto di utilizzarlo come materia prima per la produzione di biocarburanti<sup>83</sup>. Questo perché l'olio da cucina utilizzato è per lo più importato, come accennato in precedenza. Pertanto, l'UCO importato nell'UE potrebbe contenere quantità significative di olio di palma, il che sfida indirettamente il divieto dell'UE sull'olio di palma per la produzione di biocarburanti. Il motivo alla base del divieto è che la produzione di olio di palma è associata a gravi preoccupazioni ambientali, tra cui la deforestazione, la riduzione della biodiversità, la minaccia della fauna selvatica e diverse violazioni dei diritti umani. I limiti geografici dei luoghi in cui tali colture oleaginose possono crescere rendono l'UE incapace di piantare e fornire olio di palma, soia o girasole su larga scala per la produzione di SAF. Le nazioni dell'Asia orientale e del Sud America sono in grado di coltivare oli di palma e di soia, dove queste materie prime richiedono tipicamente condizioni umide, precipitazioni elevate e luce solare adeguata<sup>84</sup>. Mentre la Russia e l'Ucraina sono i maggiori produttori di olio di girasole grazie alla grande disponibilità di terre fertili e al clima adatto. Pertanto, si può concludere che la maggior parte degli oli vegetali presenta non solo potenziali preoccupazioni geopolitiche<sup>85</sup>, ma anche limitazioni geografiche dovute a condizioni climatiche inadeguate nell'UE. Nel caso della canna da zucchero e della barbabietola, crescono nell'UE e sono utilizzate principalmente per la produzione di zucchero, ma non sono materie prime altamente sostenibili.

---

<sup>81</sup> ktalley. Implementing NATO's Strategic Concept on China. Atlantic Council, 2 March 2023. Available online: <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/implementing-natos-strategic-concept-on-china/> (accessed on 22 April 2023).

<sup>82</sup> Transport & Environment. Briefing—Food not Fuel: Part Two: Vegetable Oils Are Being Burned in Cars Despite Empty Supermarket Shelves And Skyrocketing Prices. 2022. Available online: [https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/06/Food-vs-Fuel\\_-Part-2\\_Vegetable-oils-in-biofuels.pdf](https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/06/Food-vs-Fuel_-Part-2_Vegetable-oils-in-biofuels.pdf) (accessed on 1 April 2023).

<sup>83</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023

<sup>84</sup> Gupta, S.K. (Ed.) *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production: Opportunities and Constraints*; Academic Press: Amsterdam, The Netherlands, 2015; ISBN 978-0-12-801309-0.

<sup>85</sup> Shams Esfandabadi, Z.; Ranjbari, M.; Scagnelli, S.D. The imbalance of food and biofuel markets amid Ukraine-Russia crisis: A systems thinking perspective. *Biofuel Res. J.* 2022, 9, 1640–1647. [CrossRef]

Inoltre, la canna da zucchero/barbabetola richiede una notevole quantità di acqua, il che apre il dibattito tra cibo ed energia. Pertanto, piantare una coltura zuccherina dedicata per produrre carburante sostenibile per l'aviazione non sarebbe una soluzione ragionevole, sostenibile o economica. Vale la pena notare che questa sezione ha lo scopo di fornire una panoramica delle possibili implicazioni geopolitiche e geografiche per la produzione di SAF.

## Concorrenza

La gravità dell'impatto sulla concorrenza (classificata per alta, media e bassa nel report Capgemini) è determinata valutando la produzione totale delle colture, la superficie totale coltivata e il consumo umano. Più è difficile produrre abbastanza coltura necessaria per il consumo umano, maggiore è il valore della gravità della concorrenza. Le colture che competono direttamente o indirettamente con l'agricoltura sono considerate non sostenibili per la produzione di SAF e dovrebbero essere meglio evitate nel caso in cui siano disponibili altre opzioni. Definiamo la concorrenza agricola come qualsiasi coltura prodotta in azienda agricola per il consumo alimentare umano diretto o indiretto. Queste colture sono direttamente in conflitto con la sostenibilità umana quando vengono deviate verso la produzione di SAF<sup>86</sup>. Ad esempio, l'uso della soia per produrre SAF negli Stati Uniti non è un'opzione sostenibile a lungo termine. Le materie prime come i residui agricoli, i residui forestali, i RSU, l'olio da cucina usato, il miscanto, lo switchgrass e il pioppo sono alcune delle materie prime che non competono con l'agricoltura<sup>87</sup>.

La valutazione della concorrenza industriale delle materie prime interessa questioni fondamentali relative agli usi industriali e al suo impatto su queste materie prime. La presenza di concorrenza significherà che sarà necessario fare una scelta per la disponibilità di materie prime per la produzione di SAF rispetto ad altri usi industriali. Questa è una scelta difficile da fare e dipende da un gran numero di fattori sociali, economici e politici<sup>88</sup>.

Table 6- Concorrenza feedstock; Fonte: Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

PROCESS	FEEDSTOCK	COMPETITION WITH AGRICULTURE?	COMPETITION IMPACT SEVERITY	Will SAF production from this feedstock compete with other Industry?	Which Industry will compete? <sup>1</sup>	What will be the impact on economy in case all of feedstock is diverted to SAF production? <sup>2</sup>
Fischer-Tropsch	Agricultural residues	NO	NOT APPLICABLE	YES	Dairy Industry	HIGH

<sup>86</sup> FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2023.

<sup>87</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

<sup>88</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

	Forestry residues	NO	NOT APPLICABLE	YES	Paper industry	NOT APPLICABLE
	Municipal solid waste (MSW), 0% NBC	NO	NOT APPLICABLE	YES	Energy - biogas	MEDIUM
	Poplar (short-rotation woody crops)	NO	NOT APPLICABLE	NO	Not Applicable	NOT APPLICABLE
	Miscanthus (herbaceous energy crops)	NO	NOT APPLICABLE	NO	Not Applicable	NOT APPLICABLE
	Switchgrass (herbaceous energy crops)	NO	NOT APPLICABLE	NO	Not Applicable	NOT APPLICABLE
SIP	Sugarcane	YES	HIGH	YES	Sugar Industry	HIGH
	Sugar beet	YES	HIGH	YES	Sugar Industry	HIGH
HEFA	Tallow	NO	NOT APPLICABLE	YES	Animal Feed, Soap	LOW
	Used cooking oil (UCO/WCO)	NO	NOT APPLICABLE	YES	Soap	LOW
	Palm fatty acid distillate	NO	NOT APPLICABLE	YES	Soap & candles	LOW
	Corn oil	YES	MEDIUM	YES	soap, salve, paint, erasers	HIGH
	Soybean oil	YES	MEDIUM	YES	Food	MEDIUM
	Rapeseed oil	YES	MEDIUM	YES	Food	MEDIUM
	Sunflower oil	YES	HIGH	YES	Food & Agriculture	MEDIUM
	Brassica carinata oil	YES	HIGH	YES	Food	LOW
Camelina oil	YES	HIGH	YES	Cosmetic	LOW	
ATJ	Agricultural residues	NO	NOT APPLICABLE	YES	Dairy Industry	HIGH
	Forestry residues	NO	NOT APPLICABLE	YES	Paper industry	NOT APPLICABLE
	Sugarcane	YES	HIGH	YES	Sugar Industry	HIGH
	Corn grain	YES	HIGH	YES	Sugar Industry	HIGH
	Miscanthus (herbaceous energy crops)	NO	NOT APPLICABLE	NO	Not Applicable	NOT APPLICABLE
	Switchgrass (herbaceous energy crops)	NO	NOT APPLICABLE	NO	Not Applicable	NOT APPLICABLE
	Molasses	NO	NOT APPLICABLE	YES	Food & Liquor (Rum)	MEDIUM

### Valutazione sociale del feedstock e della governance SAF

Con l'aumento dei viaggi aerei e l'aumento della domanda di viaggi, la domanda di carburante per aerei e SAF continuerà a crescere continuamente. Questo genera opportunità oltre la semplice riduzione delle emissioni di CO2. L'attenzione alla produzione di SAF ha anche significativi benefici sociali, come lo smaltimento sostenibile dei rifiuti, il reddito extra per gli agricoltori e il rafforzamento

della sovranità energetica. Se attuato in modo sostenibile, ciò contribuirà ad affrontare cinque obiettivi di sviluppo sostenibile stabiliti dalle Nazioni Unite, vale a dire buona salute e benessere; energia pulita a prezzi accessibili; industria, innovazione e infrastrutture; lavoro dignitoso e crescita economica; e azione per il clima. Contribuirà a ridurre il costo sociale totale del carbonio. Le materie prime come i residui agricoli possono fornire un reddito extra agli agricoltori di tutto il mondo. Ciò è particolarmente significativo per i paesi in cui il reddito degli agricoltori è basso: questo reddito aggiuntivo può contribuire a promuovere una migliore crescita economica per gli agricoltori delle regioni interessate. Gli agricoltori (tipicamente in Asia) bruciano i residui agricoli per sbarazzarsene in modo conveniente. Questo rilascia una grande quantità di carbonio nell'aria, causando un grave inquinamento<sup>89</sup>. La produzione SAF offre l'opportunità di pianificare meccanismi efficienti di smaltimento dei rifiuti, portando a città più pulite e a una minore necessità di discariche<sup>90</sup>. I RSU possono essere raccolti e inviati agli impianti di produzione SAF per la lavorazione e la produzione.

### **Analisi e approfondimenti comparativi**

Tenendo conto della già menzionata posizione dominante dei SAF rispetto all'aviazione a idrogeno o all'elettrificazione, almeno per il prossimo futuro, viene effettuata un'analisi comparativa tra le tecnologie SAF più attive sul mercato in termini di costo ed efficienza ambientale. L'ultima proposta dell'UE, "ReFuelEU Aviation", identifica il ruolo chiave di HEFA, Fischer-Tropsch, AtJ ed e-fuel nel mercato emergente del carburante per aerei. Le metriche selezionate per il confronto sono: prezzo minimo di vendita del jet fuel (MJSP), espresso in EUR/L, per la valutazione tecnico-economica ed emissioni di GHG, espresse in gCO<sub>2</sub>eq/MJ di carburante prodotto, per la valutazione ambientale<sup>91</sup>.

### **Valutazione tecnico-economica (revisione della letteratura)**

Lo studio condotto da Detsios, N. e al.<sup>92</sup> offre un'ampia raccolta di previsioni relative ai MJSP SAF tramite più materie prime effettuata per i percorsi HEFA, FT, AtJ ed e-jet ed è presentata nella Tabella seguente.

---

<sup>89</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

<sup>90</sup> ICAO, 2022. Environmental Report.

<sup>91</sup> Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. <https://doi.org/10.3390/en16041904>

<sup>92</sup> Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. . <https://doi.org/10.3390/en16041904>



Table 7-Previsione MJSP

Processo	Feedstock	MJSP
HEFA	Olio vegetale	1.39 EUR/L
	Olio vegetale	1.84 EUR/L
	UCOS	1.03 EUR/L
	Olio di Jatropha	1.60 EUR/L
	olio di palma	0.81 EUR/L
	Sego	1.10EUR/L
	UCOS	0.94EUR/L
	Olio di semi di soia	1.23EUR/L
	UCOS	1.29EUR/L
	UCOS	0.88EUR/L
	Olio di semi di soia	1.09EUR/L
	Olio di Jatropha	1.44EUR/L
	olio di palma	1.04EUR/L
	FT	Rifiuti solidi urbani
Residui agricoli		2.01EUR/L
Riso ricorda		2.22EUR/L
Truciolli di legno		1.24EUR/L
Materia prima lignocellulosica		1.97EUR/L
Rifiuti solidi urbani		1.34EUR/L
Residui agricoli		1.80EUR/L
Residui forestali		2.47EUR/L
Materia prima lignocellulosica		2.22EUR/L
Rifiuti solidi urbani		1.55EUR/L
Residui agricoli		2.00EUR/L
Residui forestali		1.82EUR/L
Lolla di riso		2.22EUR/L
Bioolio di pirolisi		2.34EUR/L
Stufa di mais		3.64EUR/L
AtJ	Chicchi di mais (etanolo 1 G)	1.21EUR/L
	Stocchi di mais (etanolo 2 G)	1.71EUR/L
	Chicco di mais (etanolo 1-G)	0.90EUR/L
	Lignocellulosa (etanolo 2-G)	2.30EUR/L
	Canna da zucchero (etanolo 1-G)	2.02EUR/L
	Lignocellulosa (etanolo 2-G)	1.98EUR/L
	Lignocellulosa (etanolo 2-G)	2.75 EUR/L
	Residui forestali (etanolo 2-G)	1.98EUR/L
	Paglia di frumento (etanolo 2-G)	2.72EUR/L
	Biomassa legnosa (alcoli misti 2-G)	1.28EUR/L
	Canna da zucchero (etanolo 1-G)	1.27EUR/L
	Lignocellulosa (etanolo 2-G) Gas	1.71 EUR/L
	di scarico dell'acciaio (etanolo 2-G)	1.53EUR/L
E-jet	CO2 + H2 (percorso FT/percorso Metanolo)	2.10-2.30 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso FT/percorso Metanolo)	2.13 EUR/L

	CO2 + H2 (percorso FT)	2.77–4.89 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso FT)	2.33–3.17 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso FT/percorso Metanolo)	2.25–5.00 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso FT)	3.39 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso FT/percorso Metanolo)	2.94 EUR/L
	CO2 + H2 (percorso del metanolo)	2.45–3.28 EUR/L
	CO2 + H2 (FT route)	2.60–3.37 EUR/L

Il processo HEFA prevede l'idrotrattamento di vari oli per produrre jet fuel come prodotto primario. Sono stati identificati studi che coinvolgono oli di prima generazione (ad es. olio di palma, olio di soia) e di seconda generazione (ad es. UCO) ed è stato ottenuto un intervallo MJSP di 0,81– 1,84 EUR/L. I casi guidati da UCO sembrano essere le opzioni HEFA più competitive in termini di costi, con valori inferiori a 1 EUR/L che sembrano possibili. È stato notato che il costo delle materie prime rappresenta oltre il 50% dei costi di produzione livellati in ogni studio tecnico-economico relativo, portando alla conclusione che i costi HEFA sono guidati principalmente dai costi degli oli acquistati.

Il processo FT si basa sulla promozione dei biocarburanti a base di residui (i cosiddetti biocarburanti avanzati). In particolare, un'ampia varietà di residui biogenici è materia prima appropriata per il processo di gassificazione che successivamente alimenta il percorso FT con syngas. Il processo FT guidato dalla gassificazione comporta elevate spese in conto capitale (vale a dire, oltre il 50% dei costi di produzione), ma come già accennato, è flessibile per quanto riguarda il tipo di materia prima utilizzata. Questa flessibilità che coinvolge più materie prime (ad esempio, residui forestali, residui agricoli, rifiuti solidi urbani) si traduce in una gamma relativamente ampia di costi di produzione, come osservato anche nella presente revisione (1,24–3,64 EUR/L). I MJSP più bassi ottenuti si riferiscono al coinvolgimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) come materia prima, poiché i rifiuti solidi urbani sono solitamente disponibili gratuitamente e hanno il potenziale per costi negativi. I costi di produzione di AtJ dipendono principalmente dai costi dell'etanolo. Mentre l'etanolo di prima generazione (1-G), che si ottiene attraverso la fermentazione di colture di zucchero/amido (ad es. canna da zucchero, chicco di mais), è un prodotto commercializzato e maturo, la conversione della materia prima lignocellulosica tramite idrolisi e successiva fermentazione o la conversione dei gas di scarico in etanolo tramite fermentazione del gas (2-G) è un percorso più complesso e solitamente più costoso. Tuttavia, più percorsi AtJ basati su materie prime sostenibili (etanolo 2-G) sembrano anche comportare costi di produzione accessibili o almeno competitivi. È stato raccolto un gruppo di studi

tecnico-economici che coinvolgono etanolo 1-G e 2-G ed è stato ottenuto un intervallo MJSP di 0,90–2,75 EUR/L per il percorso AtJ<sup>93</sup>.

Per quanto riguarda gli e-fuel, le principali rotte identificate per la produzione di e-jet sono la rotta FT e la rotta del metanolo. Il percorso FT comprende l'RWGS o la co-elettrolisi seguita dalla sintesi FT, mentre il percorso del metanolo comporta la formazione di metanolo e il successivo aggiornamento al jet. Un ampio spettro MJSP di 2,10–5,00 EUR/L è stato ottenuto dagli studi power to liquid (PtL) identificati. I carburanti per e-jet mostrano la maggiore incertezza a causa dell'ampia gamma di tecnologie potenzialmente coinvolte, tra cui la cattura di CO<sub>2</sub> da fonti concentrate o la cattura diretta dell'aria (DAC), la cella elettrolitica a ossido solido (SOEC) o RWGS e, naturalmente, i prezzi divergenti dell'elettricità verde. Nella maggior parte degli studi, l'idrogeno verde e i costi associati (ad es. impianto di idrogeno, elettricità verde) rappresentano oltre il 70% dei costi di produzione livellati dell'e-jet.

Utilizzando qualsiasi ripartizione dei costi disponibile dagli studi tecnico-economici identificati, è stato fissato un intervallo generale relativo a CAPEX (spese in conto capitale), OPEX (spese operative) e contributi di materie prime ai costi di produzione di ciascuna tecnologia (Tabella 3).

*Table 8 CAPEX, OPEX, and feedstock range of contribution to the production costs*

	HEFA	FT	AtJ	E-jet
CAPEX range (%)	22-40	54-81	45-75	5-20
OPEX range (%)	8-10	12-21	2-14	5-15
Feedstock range (%)	51-69	0-32	20-44	70-85

La dipendenza della tecnologia HEFA dal costo delle materie prime è già stata menzionata, mentre la flessibilità delle materie prime dei percorsi FT e AtJ porta ad ampi intervalli con CAPEX come principale indicatore di costo. Per quanto riguarda l'e-jet, la sicurezza dell'idrogeno verde, che è considerato materia prima, è chiaramente il parametro di costo più influente ed è guidato dai prezzi dell'elettricità rinnovabile e dall'hardware dell'elettrolizzatore. I valori medi della Tabella

<sup>93</sup> Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. <https://doi.org/10.3390/en16041904>

sovrastante vengono utilizzati per l'allocazione dei costi di ciascuna tecnologia, presentata nella Figura 24.

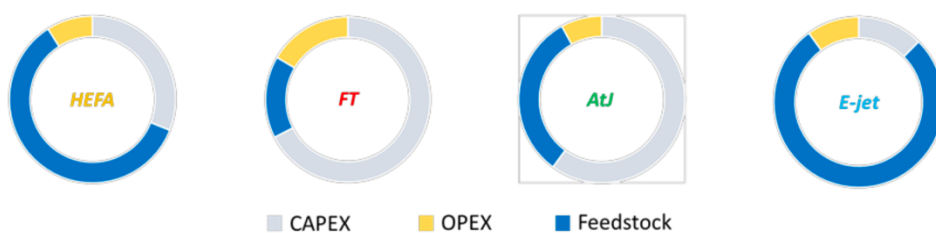


Figura 24-Struttura dei costi per i diversi percorsi SAF; Fonte: *Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. Energies* 2023

È chiaro che il SAF prodotto da HEFA è l'opzione più competitiva in termini di costi e l'unica rotta finora in grado di competere costantemente con i prezzi del carburante per aerei convenzionali. Inoltre, il fatto che la letteratura pertinente (HEFA) dopo il 2019 sia scarsa è un altro indicatore del fatto che HEFA è già penetrato nel mercato e può essere considerato l'unico SAF commerciale all'avanguardia. Le rispettive linee di tendenza per le rotte FT e AtJ si collocano ampiamente all'interno del range 1,50-2,00 EUR/L<sup>94</sup>. Come già accennato, FT e AtJ sono due tecnologie che si sono avvicinate alla commercializzazione, provocando successivamente un'intensa attività di ricerca e interesse di mercato. La flessibilità delle materie prime di questi due percorsi si traduce in potenziali deviazioni per quanto riguarda la valutazione dei loro esatti costi di produzione, ma è piuttosto lecito affermare che materie prime economicamente vantaggiose (ad es. RSU, residui) possono portare a FT e AtJ competitivi in termini di costi implementazioni. Si prevede che i progressi tecnologici in corso e l'effetto di scala intrinseco ridurranno ulteriormente i costi di produzione e trasformeranno le rotte FT e AtJ in scelte praticabili. La linea di tendenza generata dall'e-jet si sposta intorno a 3 EUR/L e illustra la già menzionata incertezza attuale che caratterizza questo tipo di carburante a causa della diversità dinamica dei costi. Delle tecnologie potenzialmente coinvolte. Quasi tutti gli studi tecnico-economici identificati lottano per determinare i costi di produzione di e-jet inaccessibili al momento, ma tutti evidenziano il significativo potenziale di riduzione dei costi in futuro, guidato principalmente da elettrolizzatori a basso costo ed effetti di scala. In generale, si può tranquillamente ipotizzare che i progressi tecnologici e i quadri legislativi favorevoli aiuteranno drasticamente i SAF in termini di colmare il divario con il carburante convenzionale per aerei in termini di costi di produzione. C'è la sensazione che l'intensificazione prevista dei costi del carbonio e dei mandati di miscelazione alla

<sup>94</sup> Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. <https://doi.org/10.3390/en16041904>

fine consentirà un pareggio tra SAF e combustibili fossili per aerei<sup>95</sup>. Quest'ultimo dovrebbe essere il passo decisivo per lo sblocco diretto dei SAF sul mercato dei carburanti.

Si evince, quindi, sulla base del costo per tonnellata di TRL/FRL, CAPEX e OPEX che l'HEFA sia l'opzione più promettente. Ciò è dovuto a diversi motivi:

1. Le materie prime utilizzate in HEFA, come oli vegetali e grassi animali, non richiedono lavorazioni complesse, il che riduce l'investimento di capitale richiesto per l'impianto di produzione. Pertanto, solo il 7-10% circa del costo del carburante per aerei deriva dal costo del capitale. Diversamente da HEFA, il costo del capitale rappresenta la maggior parte del costo del carburante per aerei in altri percorsi, come FT e ATJ.
2. Il processo HEFA è una tecnologia collaudata utilizzata da molti anni nella produzione di biodiesel. La tecnologia è ben nota e può essere facilmente adattata per la produzione di carburante rinnovabile per l'aviazione.
3. HEFA ha una resa di conversione relativamente elevata rispetto ad altri percorsi, il che significa che una quantità relativamente piccola di materia prima, una volta lavorata, risulterà essere circa il 90% di idrocarburo liquido. Pertanto, ciò ridurrà sia il capitale che i costi operativi.
4. I flussi secondari producono preziosi co-prodotti come il glicerolo, che possono essere venduti per compensare i costi operativi dell'impianto.

Sulla base della disponibilità e del costo delle materie prime, emerge una storia diversa poiché i rifiuti e i residui di biomassa sono i più abbondanti e potrebbero essere forniti in grandi quantità e a un costo ragionevolmente basso. RSU è la materia prima più economica grazie alla disponibilità delle politiche esistenti per la raccolta e lo smistamento. Pertanto, i percorsi che potrebbero utilizzare tali materie prime avrebbero il più alto potenziale per essere ampiamente implementati. Pertanto, Fischer-Tropsch è in testa in questa categoria, seguita da ATJ e HFS-SIP, grazie alla disponibilità di fascia media e al costo delle loro materie prime. HEFA arriva alla fine della classifica in quanto utilizza materie prime che non sono ampiamente disponibili e includono materie prime relativamente più costose<sup>96</sup>.

---

<sup>95</sup> Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. <https://doi.org/10.3390/en16041904>

<sup>96</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023

Altro aspetto di particolare interesse è il calo percentuale massimo, in quanto FT-SPK/A e CHJ SKA potrebbero fornire un carburante adatto al 100% per essere utilizzato nell'attuale flotta aerea senza necessità di miscelazione. Questo perché questi percorsi producono SAF che ha proprietà relativamente identiche al carburante per aerei convenzionale, con circa il 20% di aromatici. Questa percentuale aromatica soddisfa le norme di sicurezza necessarie per la tenuta del motore.

## **Sezione 5: La situazione del mercato dei combustibili alternativi (SAF)**

### **Analisi della domanda di SAF**

Secondo IATA<sup>97</sup>, nel 2024 saranno raggiunti i livelli di passeggeri totali pre-covid a livello globale. Le stime più recenti non tengono conto del protrarsi del conflitto in Ucraina, il quale però impatta solo indirettamente sul mercato aereo. In generale, in Europa, ci si attende una crescita stabile, sia per quanto riguarda il mercato domestico che le rotte internazionali. Inferiore, ma comunque positivo il tasso di crescita annuo per tonnellate-chilometro di merci, previsto da ICAO<sup>98</sup>, rispettivamente di 1.5% nei prossimi 10 anni, 1.6% nei prossimi 20 e 1.6% su un orizzonte di 30 anni a livello domestico e su simili valori, rispettivamente di 1.4%, 1.7% e 1.9%, per il commercio internazionale<sup>99</sup>.

Un recente studio<sup>100</sup> pubblicato dal Politecnico di Torino con il Joint Research Centre della Commissione Europea ha definito una forchetta, relativamente ai possibili scenari futuri a livello Europeo, rispetto ai volumi di SAF nei prossimi anni, in funzione dell'andamento dei volumi di traffico (passeggeri e merci). Lo studio riassume i risultati di una metanalisi condotta su 56 scenari proposti da vari gruppi di ricerca. Al 2030, il volume atteso di combustibili alternativi in Unione Europea varierebbe fra 1.0 e 3.4 milioni di tonnellate di petrolio equivalente (Mtoe), a seconda della presenza di un regime incentivante/di obblighi più o meno perentorio (25). Tali volumi rappresenterebbero l'1.6-5.6% della domanda attesa (stimata intorno ai 60-65 Mt/y<sup>101</sup> a livello EU)<sup>102</sup>.

---

<sup>97</sup><https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-03-01-01/>

<sup>98</sup>ICAO, 2023. Environmental policies on aviation fuels.

<sup>99</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT»

<sup>100</sup> Chiaramonti, D., Talluri, G., Scarlat, N., & Prussi, M. (2021). The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110715.

<sup>101</sup> Prussi M., Panoutsou C., and Chiaramonti D. (2022), *Applied Sciences*, Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand

<sup>102</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».

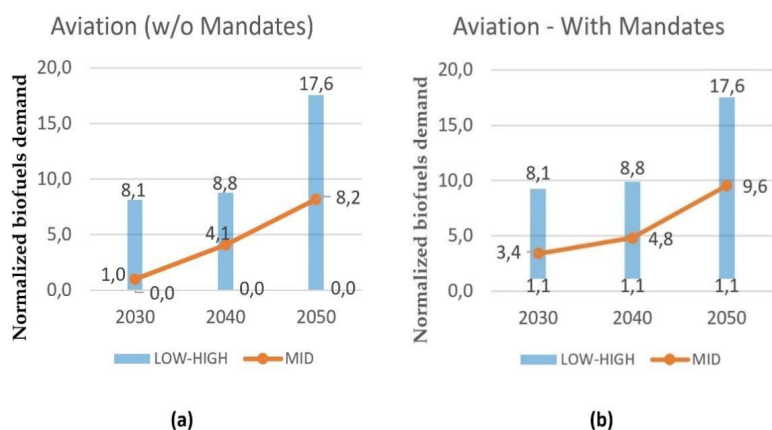


Figura 25.: Scenari di domanda aggregata a livello Europeo. (Fonte: Chiamonti et al., 2021).

L'Italia non ha ad oggi espresso un mandato specifico. In termini quantitativi, un obiettivo fra il 2% e il 5% (coerente con quanto attualmente proposto in ReFuelEU Aviation per il 2030) corrisponderebbe per l'Italia a circa 100.000-240.000 tonnellate di SAF all'anno, partendo da un consumo di circa 4.8 milioni di tonnellate di JET-A1. ENI, maggior produttore italiano, si è posta l'obiettivo di raggiungere le 500.000 tonnellate prodotte annualmente per il 2030. Ciononostante, al 2022 la produzione annua è di circa 10.000 tonnellate<sup>103</sup>, equivalenti a una forbice tra il 4% e il 10% della domanda prevista totale per il periodo 2024-2025.

### SAF supply starting to take off

- A SAF volume equal to **3% of current jet fuel demand** is in the **project pipeline** until 2030
- A SAF volume equal to **7% of current jet fuel demand** is under **offtake agreements**

### SAF volume and jet fuel demand, Mt

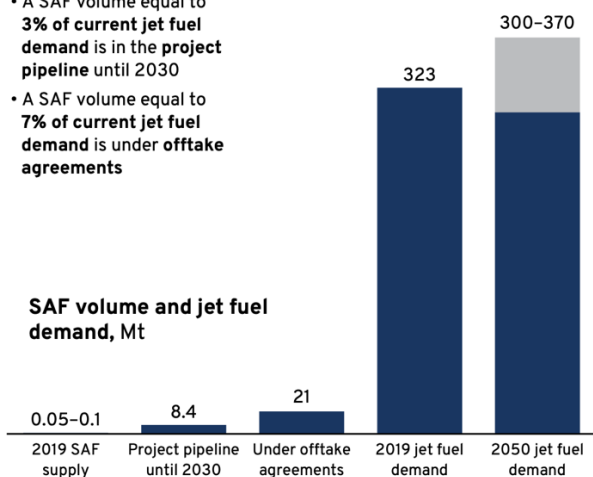


Figura 26-Proiezione volumi SAF; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"

<sup>103</sup><https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2021/10/cs-eni-avvia-produzione-carburanti-sostenibili-aviazione.html>

## **Le pietre miliari del 2030 per dare il via alla transizione allo zero netto nell'aviazione**

Entro il 2030, sono necessari circa 42-51 Mt di SAF - il 13%-15% della domanda totale di carburante per aerei - per raggiungere percorsi credibili di 1,5°C negli scenari di elettricità rinnovabile prudente e ottimistica. La produzione di SAF deve aumentare di un fattore di 5-6 dai progetti SAF attualmente pianificati per quel termine. Se i nuovi progetti SAF ricevessero un adeguato supporto di avvio, i loro costi di produzione potrebbero diminuire di circa il 10-20% entro questo decennio, grazie alle economie di scala.

Dati i tempi di consegna del progetto di circa cinque o sei anni, la pianificazione del progetto per gli impianti SAF, 310-390 necessari per fornire i livelli di domanda SAF del 2030 è fattibile, ma deve iniziare ora. Lo scale-up iniziale a una quota SAF del 13%-15% entro il 2030 può essere realizzato se le seguenti leve vengono stimolate contemporaneamente: portare PtL sul mercato e accelerare lo scale-up della produzione di biocarburanti. Tre low hanging fruit possono aiutare a raggiungere questo obiettivo sono:

1. Oggi, gli impianti HEFA impiegano solo circa il 18% della loro capacità nella produzione di carburante per aerei perché alcune politiche incentivano la produzione di altri tipi di carburante come il diesel<sup>104</sup>. I nuovi impianti HEFA possono essere ottimizzati per ottenere una quota di carburante per aerei del 55% di peso sulla produzione totale del prodotto<sup>105</sup>. Allo stesso modo, l'ammodernamento degli impianti HEFA potrebbe sbloccare un aumento del volume dei biojet. Aumentare la quota di carburante per aerei al massimo del 55% sbloccherebbe 14,8 Mt in totale.
2. Gli impianti di produzione di etanolo, attualmente utilizzati per rifornire il settore dei trasporti su strada, potrebbero essere riproposti per servire il settore dell'aviazione<sup>106</sup>. L'elettrificazione delle auto potrebbe accelerare quel processo poiché grandi volumi di etanolo potrebbero essere liberati a causa del calo della domanda di veicoli convenzionali. Nel 2019, 115 miliardi di litri (91 Mt) di bioetanolo sono stati prodotti a livello globale<sup>107</sup>. Se la sostituzione dei veicoli convenzionali con veicoli elettrici a batteria liberasse il 10% di tale domanda entro il 2030, potrebbero essere prodotti altri 6,5 Mt di carburante per aerei.

---

<sup>104</sup> IEA Bioenergy Task 39, Progress in Commercialization of Biojet /Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, Potential and Challenges, May 2021

<sup>105</sup> ICCT, The cost of supporting alternative jet fuels in the Euro- pean Union, March 2019

<sup>106</sup> Jim Spaeth, "Sustainable Aviation Fuels from Low-Carbon Ethanol Production", US Department of Energy, October 20, 2021

<sup>107</sup> IEA, "Transport Biofuels – Renewables 2020 – Analysis", 2020



3. Portare PtL sul mercato e accelerare lo scale-up della nuova produzione di combustibile bio-jet da rotte non-HEFA può attingere alla nuova fornitura SAF. La fornitura di idrogeno verde a basso costo, prodotto da elettricità rinnovabile, e CO<sub>2</sub> catturata (da PSC o DAC) saranno fattori chiave per un ingresso sul mercato PtL a breve termine.

Sebbene i volumi di produzione SAF richiesti per il 2030 rappresentino solo circa il 10%-15% della domanda nel 2050, sono fondamentali per portare le tecnologie sul mercato e sbloccare il ramp-up a circa 300-370 Mt SAF entro il 2050. I nuovi progetti di impianti SAF dovrebbero essere soggetti a rischi drasticamente inferiori dal 2030 in poi. Implementando impianti commerciali di prima e secondo tipo entro il 2030 e acquisendo così esperienza in queste tecnologie in maturazione, il TRL delle nuove tecnologie di produzione SAF può essere portato a un livello più elevato, inducendo una riduzione dei rischi di investimento. L'implementazione di un numero crescente di impianti di produzione SAF dopo il 2030 sbloccherà quindi il calo dei costi derivanti dalle economie di scala. Questo apprendimento per atto, cioè il calo dei costi per raddoppio della capacità installata cumulativa, si basa su apprendimenti relativi alla tecnologia come la standardizzazione dei processi, l'aumento dell'efficienza operativa, una maggiore specializzazione nella produzione e prezzi più bassi a causa dell'acquisto di maggiori quantità di risorse<sup>108</sup>. Inoltre, può essere basato su apprendimenti finanziari: gli apprendimenti tecnologici "possono abbassare le percezioni del rischio detenute dagli sviluppatori di progetti e dalle istituzioni finanziarie garantendo condizioni di finanziamento più favorevoli", le banche di investimento statali possono "costruire la fiducia degli investitori nelle nuove tecnologie"<sup>109</sup>, e un gruppo crescente di investitori può creare concorrenza che riduce il costo di finanziamento dei nuovi progetti. Per alcuni componenti come gli elettrolizzatori, i tassi di apprendimento dovrebbero essere del 13%-18%<sup>110</sup> con il potenziale di aumentare a tassi simili a quelli del solare fotovoltaico (PV), che ha registrato tassi di apprendimento di circa il 30%, cioè un calo dei costi del 30% per raddoppio della capacità installata cumulativa<sup>111</sup>.

---

<sup>108</sup> Agora Energiewende and Guidehouse, Making Renewable Hydrogen Cost-Competitive: Policy Instruments for Supporting Green H<sub>2</sub>, 2021

<sup>109</sup> Florian Egli, Bjarne Steffen, and Tobias Schmidt, "Learning in the Financial Sector Is Essential for Reducing Renewable Energy Costs", *Nature Energy* 4, no. 10 (2019): 835–6

<sup>110</sup> Energy Transitions Commission (ETC), Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy, April 2021

<sup>111</sup> «Aircraft Technology Net Zero Roadmap 2 ». [Online]. Disponibile su: [www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org)

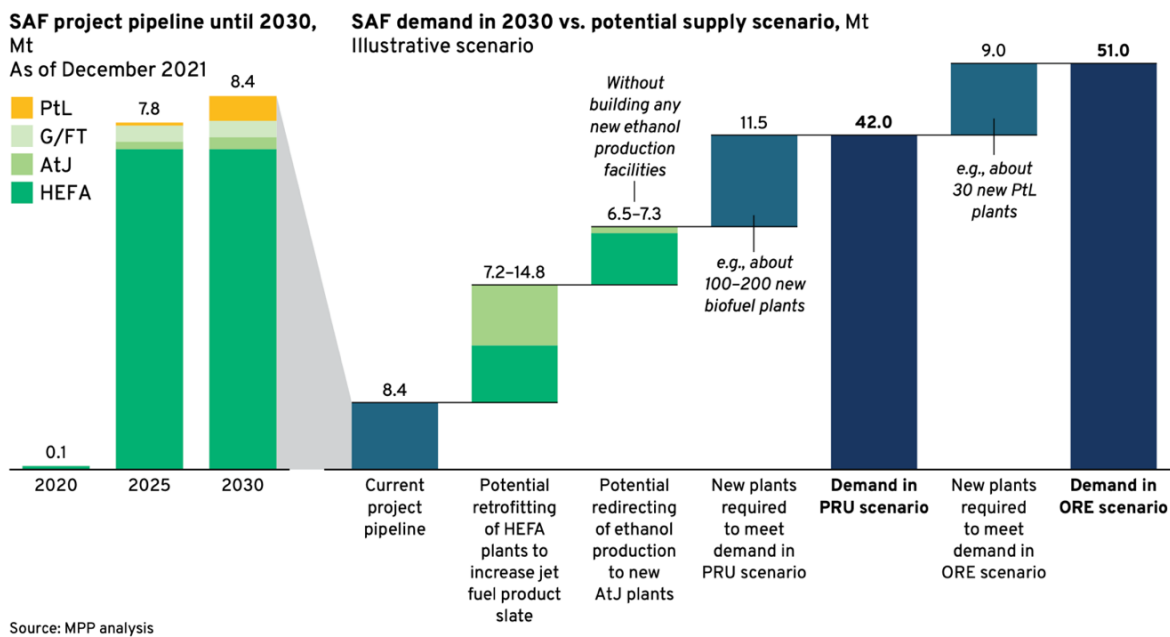


Figura 27-Scenario SAF per il 2030; Fonte: MPP; “Making net-zero aviation possible”

La soddisfazione della domanda energetica dell'aviazione deve essere pianificata nel contesto della domanda di energia e di risorse di tutti i settori. L'aviazione sarà un importante concorrente per l'elettricità rinnovabile, l'idrogeno verde e la biomassa sostenibile. A più biomassa può accedere il settore dell'aviazione, minore sarà l'elettricità rinnovabile e la capacità di produzione di idrogeno e viceversa. Tuttavia, secondo le previsioni dello studio «Making net-zero aviation possible <sup>112</sup>» nessuna singola materia prima sarà sufficiente a soddisfare la domanda totale di energia del settore dell'aviazione nel 2050. Avrà bisogno di una combinazione di tutti i fattori: elettricità rinnovabile, il 5%-10% della domanda globale di elettricità rinnovabile, cioè 5.850-9.300 TWh; idrogeno, l'aviazione richiederà tra i 100 e 150 Mt di idrogeno entro il 2050, una quota del 10%-30% della domanda globale; biomassa, il 10-25% della materia prima globale di biomassa sostenibile potrebbe fornire fino al 50% della domanda finale di energia del settore aeronautico nel 2050; inoltre l'aviazione può diventare una delle più grandi applicazioni per la cattura aerea diretta di CO<sub>2</sub>.

### Valutazione della capacità produttiva degli specifici percorsi SAF entro il 2030

HEFA, FT-SPK e ATJ sono i processi più promettenti per stimolare il mercato SAF. Sulla base delle materie prime effettivamente disponibili nel 2030, la produzione massima di SAF è stata stimata in relazione agli obiettivi SAF proposti nell'iniziativa ReFuelEU. L'obiettivo per le materie prime a base biologica nel 2030 è pari al 4,8% della domanda totale di carburante per aerei

<sup>112</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY (technical appendix) / JULY 2022».

dell'UE<sup>113</sup>. La quantità di produzione SAF varia a seconda del tipo di materia prima e del percorso di conversione. Le materie prime vengono convertite in una miscela di idrocarburi liquidi, tra cui SAF. I fattori di rendimento sono stati utilizzati per convertire le quantità di materia prima in SAF. I valori di resa si basavano sui dati della letteratura. La stima della capacità di produzione di SAF utilizzando tali processi fornisce una migliore comprensione delle possibilità di raggiungere gli obiettivi SAF utilizzando le tecnologie esistenti. Per i calcoli sono stati considerati i valori medi, mentre è importante sottolineare che in pratica i valori di resa cambierebbero a seconda della materia prima e della configurazione del processo. La produzione SAF utilizzando le diverse materie prime e percorsi è stata stimata per l'UE come mostrato nella figura 28.

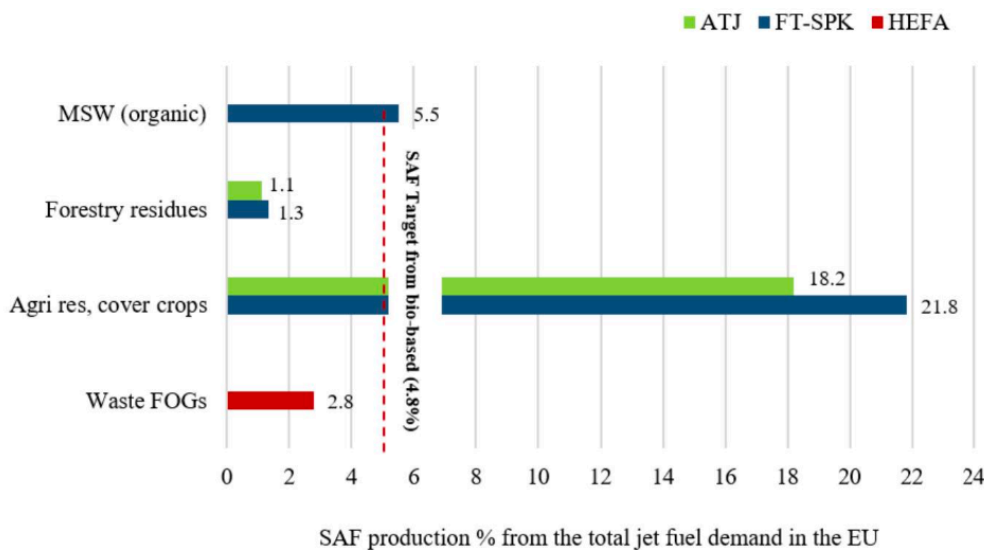


Figura 28-Produzione SAF stimata in base alle materie prime disponibili nell'UE entro il 2030 Fonte: «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050»

Si può vedere che i rifiuti FOG e i residui della silvicoltura non sarebbero sufficienti per fornire all'UE il suo fabbisogno di SAF nel 2030. D'altro canto, i residui agricoli, le colture di copertura e i RSU sono in grado di soddisfare tutti gli obiettivi dell'UE per i prodotti a base di materie prime biologiche. Lo scenario più probabile è utilizzare un portafoglio di percorsi e materie prime, poiché ciò

dipenderà potenzialmente dalla fattibilità economica di ciascuna materia prima nelle diverse regioni. Nella maggior parte dei casi, ATJ e FT-SPK possono utilizzare la stessa materia prima per produrre SAF escludendo RSU, che è esclusiva per FT-SPK. Nel complesso, FT-SPK supera ATJ grazie alla flessibilità di utilizzare un'ampia gamma di materie prime e valori di resa più elevati, che si traducono in una maggiore capacità di produzione di SAF. Pertanto, FT-SPK ha il potenziale per raggiungere gli obiettivi SAF nel 2030 e oltre. Sebbene sia importante sottolineare che, valutando i valori di resa,

<sup>113</sup> European Commission. ReFuelEU Aviation initiative: Sustainable Aviation Fuels and the 'fit for 55' Package. 2022.

l'HEFA ha il più alto potenziale per produrre più SAF. Tuttavia, a causa dei limiti delle materie prime dei FOGS dei rifiuti, HEFA sarebbe in grado di raggiungere solo il 58% circa dell'obiettivo SAF. La produzione complessiva massima di SAF dalle materie prime biologiche combinate corrisponde al 31,4% della domanda totale di carburante per aerei dell'UE, che è di circa 14,44 Mt<sup>114</sup>. Questo valore è stato ottenuto sommando la produzione di SAF dalle diverse materie prime. Per la produzione di SAF dalla stessa materia prima, il valore di FT-SPK è stato considerato rispetto all'ATJ poiché ha una maggiore capacità produttiva.

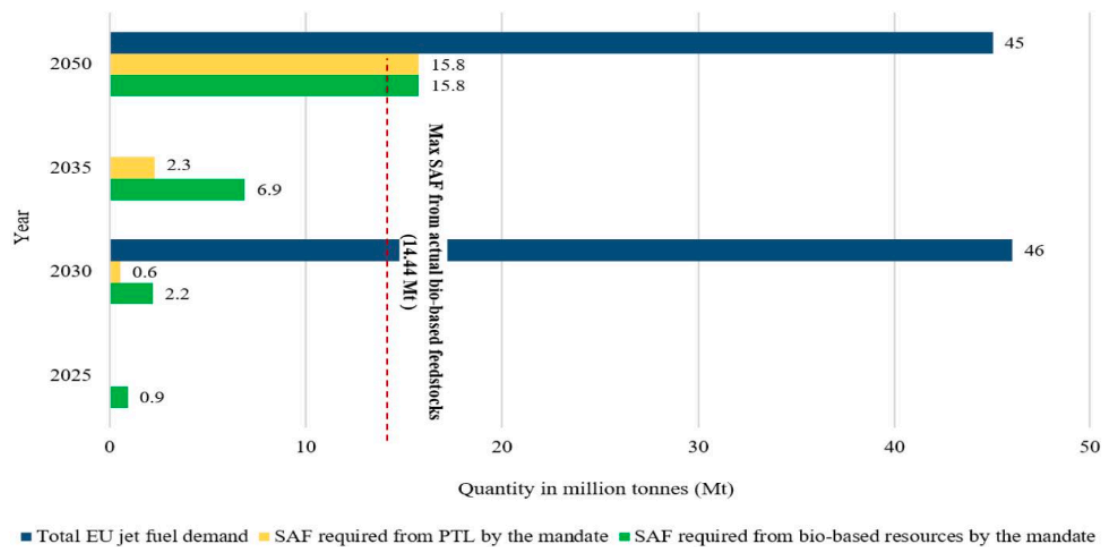


Figura 29-Stima evoluzione capacità produttiva; Fonte: «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050»

La produzione massima possibile di SAF da materie prime biologiche effettive è di 14,44 Mt, mentre nel 2050, almeno 15,8 Mt di SAF devono essere prodotte da materie prime biologiche secondo il mandato europeo SAF. Pertanto, ci sarà una carenza di 1,35 Mt di SAF, che dovrebbe essere prodotta per raggiungere l'obiettivo. Ciò corrisponde alla necessità di ulteriori 2,4 Mt di rifiuti FOGS o circa 10,8 Mt di residui agricoli e colture di copertura. Tali quantità dovrebbero essere disponibili nel 2050 per raggiungere gli obiettivi<sup>115</sup>. D'altra parte, se assumiamo ipoteticamente che tutta la biomassa utilizzata nel settore della bioenergia dell'UE sarà utilizzata per produrre SAF, sarà in grado di fornire oltre il 230% della domanda totale di carburante per aerei dell'UE. In realtà, ciò non accadrà, ma mostra chiaramente che teoricamente la biomassa è in grado di soddisfare le richieste dell'UE. Pertanto, con il giusto quadro politico in atto, più biomassa potrebbe essere deviata da altri settori per produrre SAF e soddisfare la domanda nel 2050. Tuttavia, l'attuazione di questa politica richiederebbe discussioni sostanziali

<sup>114</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023

<sup>115</sup> M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023

e una notevole quantità di tempo per una deliberazione approfondita. Si può vedere chiaramente che la mancanza di un'effettiva disponibilità di biomassa nell'UE deriva dalla necessità di nuove tecnologie come PTL, che saranno cruciali per il futuro dell'industria SAF. Soprattutto considerando il fatto che il processo PTL può utilizzare diverse fonti di anidride carbonica, come flussi ricchi di CO<sub>2</sub> dal cemento, dall'industria dell'acciaio o dalla cattura diretta del carbonio dall'aria. Questa conclusione è in linea con la visione dell'UE di introdurre un sub-mandato dedicato per il power-to-liquid.

### Pipeline del progetto SAF

Attualmente vengono prodotti circa 0,05-0,10 Mt di SAF ogni anno quasi esclusivamente derivanti dell'HEFA. I volumi di produzione attuali si confrontano con una capacità di produzione totale del prodotto (compresi i sottoprodotti) di 8,9 Mt oggi<sup>116</sup>. Tuttavia, la maggior parte di questo volume di biocarburanti va al settore del trasporto su strada come biodiesel/benzina.

Fino al 2030, la produzione SAF di HEFA aumenterà a 7 Mt, e di sono previsti anche i primi volumi altri biocarburanti (AtJ, G/FT) ed e-fuel, per un totale di 1,2 Mt entro il 2030<sup>117</sup>.

Di seguito è riportata la sintesi della capacità di produzione SAF operativa e pianificata realizzata sulla base degli annunci delle principali aziende produttrici realizzata da MPP<sup>118</sup>

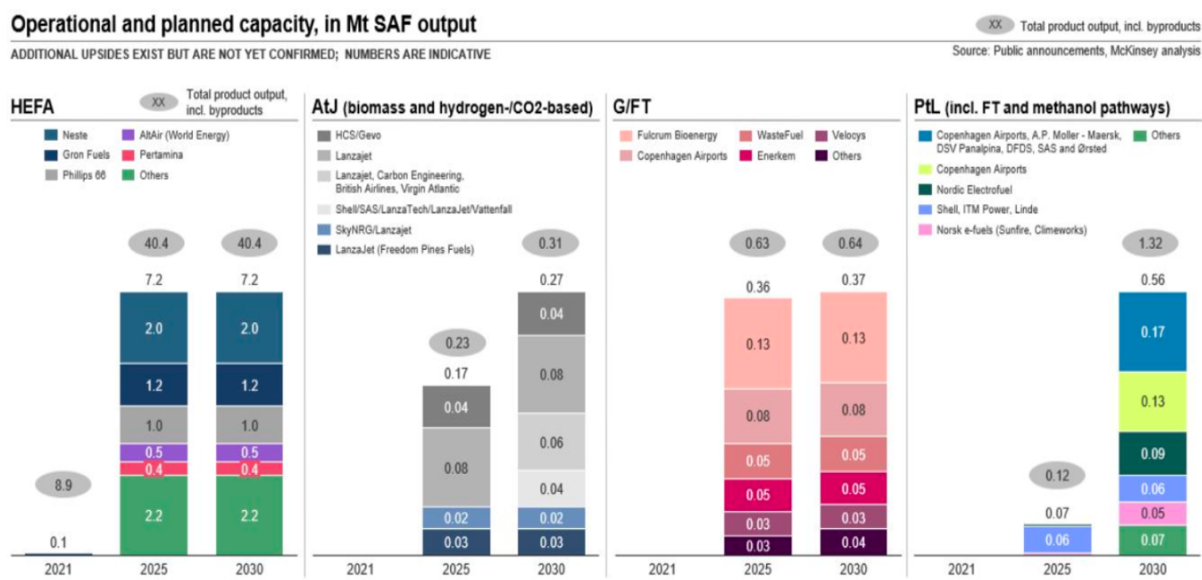


Figura 30-Capacità di produzione SAF; Fonte: MPP; "Making net-zero aviation possible"; Technical appendix

<sup>116</sup> IATA, "Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)", 2021,

<sup>117</sup> Mission Possible Partnership, «MAKING NET-ZERO AVIATION POSSIBLE An industry-backed, 1.5°C aligned transition strategy, AVIATION TRANSITION STRATEGY (technical appendix) / JULY 2022».

## Confronto fra offerta e domanda potenziali

Dal lato dell'offerta le stime si basano necessariamente su alcuni aspetti della filiera produttiva dei SAF, in particolare:

1. Capacità installata e potenziale di sviluppo dei siti di produzione
2. Disponibilità di materia prima

Il mercato dei SAF è ancora in una fase molto iniziale, pertanto, la produzione è limitata alle aziende più grandi del settore energetico e petrolifero. Dall'altro lato, i principali utilizzatori, nonché investitori, sono le compagnie aeree. Nella tabella seguente, sono indicati alcuni paesi Europei, con indicazione delle politiche di introduzione di SAF e le aziende capofila, con le relative capacità produttive attuali ed attese.

A livello europeo, secondo l'Agenzia Europea della Sicurezza per l'Aviazione (EASA), l'attuale capacità installata riuscirebbe a coprire il 10% della domanda attesa di SAF al 2030. In linea con altre stime, il lavoro di Prussi et al.<sup>119</sup>, riporta tre scenari con volumi potenziali compresi fra 0,5 mt/anno e 3,5 mt/anno, capaci di coprire dal 1 al 6% dell'attuale domanda di combustibile aereo.

Queste valutazioni tendono ad evidenziare quanto il collo di bottiglia allo sviluppo di un mercato dei SAF non sia ad oggi da ricercare nella capacità degli impianti, quanto piuttosto nella disponibilità di materie prime a costi competitivi.

Le materie prime utilizzabili per la produzione di SAF sono numerose e possono essere raggruppate in base alle tecnologie di riferimento. HEFA, la tecnologia ad oggi più diffusa ed avanzata, fa impiego principalmente di oli vegetali, ottenibili da numerose filiere. Oltre a questi, vengono comunemente riportate tutte le sostanze per la produzione di alcool, successivamente convertibile in Jet A1. Altre materie prime possibili sono i gas di risulta da processi industriali e quei combustibili prodotti tramite energie rinnovabili, che però risultano ad oggi ancora non disponibili in volumi significativi.

Come viene evidenziato dallo studio dell'ICCT<sup>120</sup>, il potenziale atteso dal 2025 al 2030 sarà coperto in misura importante da oli e grassi, con un crescente contributo di materiali lignocellulosici da convertire ad alcool. Dal 2030, assieme ai gas industriali, viene riportata una crescente quota di *electrofuel*, prodotta da energie rinnovabili e cattura della CO<sub>2</sub> (tecnologie CCU e CCUS). Numerosi studi<sup>121</sup> concordano nell'affermare che il potenziale più ampio non risieda nelle materie prime ad oggi

---

<sup>119</sup> Prussi, M., O'connell, A., & Lonza, L. (2019). Analysis of current aviation biofuel technical production potential in EU28. *Biomass and Bioenergy*, 130, 105371.

<sup>120</sup> S. Searle, N. Pavlenko, A. Kharina, and J. Giuntoli. 2019. Long-term aviation fuel decarbonization: Progress, roadblocks, and policy opportunities. [www.theicct.org](http://www.theicct.org)

<sup>121</sup> <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/08/SkyNRG-Market-Outlook-on-SAF-Background-Analysis-JUL-2021.pdf>

utilizzate quanto negli scarti dell'agricoltura e dell'attività forestale, così come nelle frazioni riutilizzabili dei rifiuti solidi urbani<sup>122</sup>.

Table 9- Capacità produttiva a livello EU27

Paese	Data e mandato	Status	Aziende capofila	Capacità produttiva (solo SAF)
Norvegia <sup>123</sup>	2020: 0.5% 2023: 2%	Approvata Consultazione	Nordic Electrofuel	N.D.
Svezia <sup>124,125</sup>	2023: 2.6% 2030: 27%	Approvata	Swedish Biofuels	2025: 20 kt/a <sup>126</sup>
Germania <sup>127</sup>	2026: 0.5% 2028: 1% 2030: 2%	Approvata	Vattenfall, Haltermann Carless	2023: N.D.
Paesi Bassi	N.D.	N.D.	Synkero	2027: 50 kt/a <sup>128</sup>
Francia <sup>129</sup>	2022: 1% 2024: 1.5%	Approvata Consultazione	TotalEnergies	2023: N.D. 2024: 210 kt/a <sup>130</sup>
Spagna	N.D.	N.D.	Repsol, Cepsa	2021: 5,3 kt/a <sup>131</sup> 2024: 250 kt/a <sup>132</sup>
Italia	N.D.	N.D.	Eni	2022: 10 kt/a 2030: 500 kt/a
Finlandia	N.D.	N.D.	Neste	2024: 1500 kt/a <sup>133</sup>
Regno Unito <sup>134</sup>	10% entro il 2030	Consultazione	Shell, Velocys	2025: 2000 kt/a <sup>135</sup> 2030: 1150 kt/a <sup>136</sup>

## Annunciata la produzione di SAF nell'UE

Accompagnando l'attenzione politica e sociale, molte aziende hanno annunciato piani per l'apertura di impianti di produzione nell'UE. I seguenti piani sono stati annunciati pubblicamente:

- SkyNRG ha recentemente annunciato l'apertura del primo impianto di produzione dedicato per SAF nell'UE basato sulla tecnologia HEFA. L'impianto DSL-01 produrrà 100.000 tonnellate di SAF nel 2030<sup>137</sup>.

<sup>122</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».

<sup>123</sup> <https://www.regjeringen.no/contentassets/19a211ff48814d09b9939631924cf48d/no/pdfs/nou201920190022000dddpdfs.pdf>

<sup>124</sup> <https://www.energimyndigheten.se/en/sustainability/sustainable-fuels/greenhouse-gas-reduction-mandate/>

<sup>125</sup> <https://svenskfornattningssamling.se/doc/20221217.html>

<sup>126</sup> <https://aviationweek.com/special-topics/sustainability/sweden-scales-domestic-saf-production-plans>

<sup>127</sup> <https://www.ebaa.org/industry-updates/how-is-saf-implemented-in-the-legislation-of-eu-member-states-germany/>

<sup>128</sup> <https://synkero.com/wp-content/uploads/2021/06/Synkero-White-Paper.pdf>

<sup>129</sup> [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/magazine\\_aviation\\_civile\\_janvier-2023\\_n396.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/magazine_aviation_civile_janvier-2023_n396.pdf)

<sup>130</sup> <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/grandpuits-zero-crude-platform-totalenergies-and-saria-join-forces>

<sup>131</sup> <https://www.repsol.com/en/press-room/press-releases/2021/repsol-produces-spains-first-aviation-biofuel-from-waste/index.cshtml>

<sup>132</sup> <https://www.repsol.com/en/products-and-services/aviation/biofuels-in-aviation/index.cshtml>

<sup>133</sup> <https://www.neste.com/products/all-products/saf/faq#98367e69>

<sup>134</sup> <https://www.gov.uk/government/consultations/pathway-to-net-zero-aviation-developing-the-uk-sustainable-aviation-fuel-mandate>

<sup>135</sup> <https://www.shell.com/business-customers/aviation/news-and-media-releases/news-and-media-2022/shell-first-to-supply-sustainable-aviation-fuel-to-customers-in-singapore.html>

<sup>136</sup> <https://velocys.com/2022/08/15/update-on-climate-legislation/>

<sup>137</sup> ICAO, 2019 Environmental Report, 2019a

- Neste ha annunciato di poter produrre fino a 100.000 tonnellate all'anno di jet fuel sostenibile (in tutto il mondo). Esso è alla ricerca di un'ulteriore espansione delle proprie strutture esistenti nei Paesi Bassi e in Finlandia.
- Altolto Immingham Limited, una collaborazione tra Velocys, British Airways e Shell, ha in programma di aprire un impianto commerciale di waste to fuel nel Regno Unito. L'impianto dovrebbe essere operativo a partire dal 2024.
- Total La Mède in Francia ha convertito un'ex raffineria di petrolio in una bioraffineria con una capacità massima di 500.000 tonnellate di carburante (sia per il trasporto su strada che per l'aviazione).
- Nell'ambito di un ampio consorzio di progetto, la società di energia rinnovabile Ørsted e l'aeroporto di Copenaghen mirano a sviluppare un impianto di idrogeno e carburante per il trasporto sostenibile. Il progetto ha il potenziale per sostituire il 5% dei combustibili fossili all'aeroporto di Copenaghen entro il 2027 e il 30% entro il 2030.
- Sono state inoltre annunciate strutture pilota:
  - Impianto Quantafuel nella Norvegia orientale basato su materie prime per residui forestali sostenuto dall'operatore aeroportuale norvegese Avinor; Impianto di combustibile sintetico dell'aeroporto di Rotterdam The Hague con idrogeno verde e cattura diretta dell'aria;
  - La raffineria di Heide ha annunciato la futura produzione di cherosene sintetico attraverso l'utilizzo dell'energia eolica in eccesso generata localmente che sarà acquistata da Lufthansa. Anche l'aeroporto di Amburgo è coinvolto la collaborazione.
  - Alcuni impianti esistenti nell'UE che attualmente producono biodiesel per il trasporto su strada potrebbero essere utilizzati anche per la produzione di carburante per aerei, in quanto la gamma di prodotti può essere modificata. Gli impianti che producono biodiesel basato sulla tecnologia HEFA o FT possono essere regolati per produrre porzioni più grandi di cherosene, rendendo il cherosene il loro prodotto principale anziché un coprodotto. La gamma di prodotti degli impianti HEFA può essere inclinata fino al 70% per la produzione di carburante per aerei<sup>138</sup>.

L'ICAO ha raccolto dati durante l'ICAO Stocktaking Seminar 2019<sup>139</sup> che mostrano che la capacità di produzione mondiale di SAF è stata di 0,005 Mt all'anno tra il 2016 e il 2018. Si tratta di molto

---

<sup>138</sup> Destination 2050: A route to net zero european aviation (report)

<sup>139</sup> <https://www.icao.int/Meetings/SAFStocktaking/Pages/default.aspx>



meno dell'1% della domanda totale di carburante per aerei in quel periodo. Tuttavia, è un passo importante verso la commercializzazione e la crescita in questo settore<sup>140</sup>.

Finora i volumi più significativi sono stati prodotti dallo stabilimento World Energy Paramount in California, USA, utilizzando la tecnologia HEFA. Negli ultimi anni il mercato si è ampliato e diverse aziende in tutto il mondo hanno annunciato piani per la produzione di SAF: SkyNRG, Fulcrum, LanzaTech, Neste, Velocys, UPM, Red Rock<sup>141</sup>. Il crescente livello di attenzione e l'impegno iniziale delle diverse parti interessate nella catena di fornitura dimostra che questo settore può continuare a crescere in futuro.

Dal 2009, i volumi SAF sono stati forniti regolarmente in sei aeroporti in tutto il mondo. In Europa, SAF viene mescolato regolarmente nel sistema di alimentazione dell'aeroporto di Oslo e dell'aeroporto di Stoccolma Arlanda. La maggior parte di questo SAF proviene dalla struttura World Energy in California e viene trasportata in Europa.

## **Capitolo 2: Analisi value chain e soluzioni di mercato**

### **Le reti strategiche nel mercato SAF**

Dall'analisi dell'attuale panorama SAF si percepisce la presenza di un limite nella crescita dell'offerta, piuttosto che problemi relativi alla domanda, la quale, anche per merito delle evoluzioni del contesto normativo europeo, sembra essere in linea con gli obiettivi delle diverse agende internazionali.

Ricerchiamo le cause dello stallo della produzione analizzando la value-chain dei SAF ed in particolare gli ostacoli e le frizioni a cui è sottoposta la figura del produttore di SAF.

In primo luogo, è interessante analizzare quello che è l'output della produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione, in quanto il risultato di questa produzione è da una parte il prodotto fisico e quindi il SAF ma, dall'altra parte, quota del valore creato risiede nel potenziale risparmio di emissioni che questi carburanti offrono. Si può, quindi, affermare che l'offerta dell'industria SAF è comprensiva di due addendi: un carburante drop-in e il beneficio ambientale.

I SAF nel momento in cui vanno a sostituire parte del carburante tradizionale per l'aviazione generano un beneficio sociale dato dalla riduzione di emissioni, ciò permette di valutare parte dell'output della produzione di SAF come un "bene pubblico"<sup>142</sup>.

---

<sup>140</sup> ICAO, 2019 Environmental Report, 2019a

<sup>141</sup> ICAO, 2019 Environmental Report, 2019a

<sup>142</sup> Tracey Dodd , Duygu Yegin; Deadlock in sustainable aviation fuels: A multi-case analysis of agency

È da sottolineare il fatto che i benefici sociali sono relativi all'utilizzo di SAF e non alla sola produzione, ciò fa sì che sia necessario lo sforzo non solo dei produttori ma anche delle compagnie aeree e dei governi affinché il valore sociale possa essere esperito.

La natura pubblica del beneficio creato rende difficile l'internalizzazione dello stesso o la sua monetizzazione esponendo la filiera al fenomeno caratteristico dei beni pubblici ovvero il free-riding. Ciò costituisce un importante detrattore per i soggetti interessati nell'assumere l'onere della leadership nella promozione e nell'evoluzione della filiera. I produttori, le compagnie aeree, gli Stati risultano, quindi, restii nell'assumere un ruolo trainante in questa industria rifugiandosi in un continuo "scarica barile", per il quale ciascuno crede che lo sforzo decisivo debba essere compiuto dall'altro. Chiarita questa prima fonte di complessità dovuta alla natura dell'output e del valore creato, possiamo passare ad approfondire gli ostacoli di natura pratica che interessano questa industria.

Avviare un nuovo stabilimento per la produzione di SAF rappresenta un'attività notevolmente complessa sotto diversi punti di vista:

1. Gestione del rischio dell'investimento;
2. Acquisizione e costruzione di risorse e capacità necessarie;
3. Gestione dei rapporti con gli altri attori della filiera.

### **Rischi dell'investimento**

Le aziende che vogliono intraprendere la mission di fornire carburante sostenibile alle compagnie aeree e di conseguenza collaborare al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione di questo settore si trovano a dover fronteggiare un investimento altamente rischioso.

L'elevato rischio di questo investimento è riconducibile principalmente a due aspetti:

1. Incertezza legata allo sviluppo del mercato SAF;
2. Incertezza tecnologica<sup>143</sup>.

Il mercato SAF risulta ancora acerbo nonostante la ferma convinzione degli operatori del settore che valutano i carburanti sostenibili per l'aviazione come lo strumento principale per affrontare la decarbonizzazione nel breve-medio periodo<sup>144</sup>.

Uno dei grandi ostacoli all'esplosione di questo mercato è la differenza di prezzo rispetto al cherosene che rende il mercato dipendente dalle azioni politiche, le quali, tuttavia, se ben strutturate, sono capaci di garantire la domanda di SAF.

---

<sup>143</sup> Arpit H. Bhatt, Yimin Zhang, Anelia Milbrandt, Emily Neues, Kristi Moriarty, Bruno Klein, Ling Tao, Evaluation of performance variables to accelerate the deployment of sustainable aviation fuels at a regional scale, Energy Conversion and Management, Volume 275, 2023.

<sup>144</sup> Bauen, Ausilio; Bitossi, Niccolò; German, Lizzie; Harris, Anisha; Leow, Khangzhen; Sustainable Aviation Fuels : Status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation

La presenza di politiche incentivanti e ancor di più di mandati SAF, pur garantendo la domanda, non svincola l'investitore da un rischio molto elevato il quale persiste a causa delle incertezze tecnologiche. Ad oggi numerosi percorsi produttivi SAF sono stati certificati e ancor di più stanno seguendo l'iter per esserlo nei prossimi anni, ma è ancora assente una direzione generale su quale sia il percorso più affidabile ed efficiente. La criticità risiede, quindi, nella scelta del percorso a causa di incertezze tecnologiche che non permettono di avere una chiara gerarchizzazione dei diversi processi in termini di efficienza, qualità e fattibilità.

I diversi percorsi SAF presentano l'utilizzo di diverse materie prime che portano ad avere diverse strutture di costo, le quali riverberano sulle diverse economie di scala ed in ciò risiede un'altra fonte di incertezza tecnologica ovvero l'evoluzione dinamica dei costi delle diverse tecnologie al crescere della scala. È difficile prevedere: come possano evolvere i costi per le diverse produzioni, quanto le economie di scala possano essere efficienti e come i prezzi delle materie prime possano evolversi in risposta ad una maggiore domanda.

A causa di queste incertezze la presenza di una "domanda generica di SAF" non risulta decisiva nello sbloccare lo sviluppo dell'offerta di SAF, non attenuando in maniera sufficiente il rischio dell'investimento. L'elevato rischio fa da deterrente per le grandi compagnie produttrici del settore energetico interessate al segmento SAF e impone elevati costi del capitale alle aziende che vogliono inserirsi in questa industria con l'ausilio di capitali terzi<sup>145</sup>.

### **Acquisizione e sviluppo di risorse e capacità necessarie**

La produzione di SAF che, come detto, varia a seconda della materia prima e del percorso scelto, è caratterizzata da un'elevata complessità dal punto di vista della costruzione del bundle di risorse e capacità necessario per la produzione.

La produzione di SAF aggiunge, alle risorse e alle capacità necessarie per le produzioni di altri carburanti, assets e know how che interessano lo specifico percorso, il quale, va ricordato, è funzione della materia prima scelta<sup>146</sup>.

La stretta relazione che vi è tra percorso scelto e input necessari, in termini di materie prime, assets fisici e know how tecnologici, esprime l'elevata specificità che caratterizza questa filiera e che rappresenta un ulteriore fattore di deterrenza verso l'investimento nella produzione di SAF.

L'attuale contesto industriale legato alla produzione di SAF vede una dispersione delle diverse risorse e capacità necessarie tra i diversi attori della filiera.

---

<sup>145</sup> J. J. Reimer e X. Zheng, «Economic analysis of an aviation bioenergy supply chain», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77. Elsevier Ltd, pagg. 945–954, 2017.

<sup>146</sup> L. Martinez-Valencia, M. Garcia-Perez, e M. P. Wolcott, «Supply chain configuration of sustainable aviation fuel: Review, challenges, and pathways for including environmental and social benefits», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 152.

I know how relativi alle nuove tecnologie produttive vengono generalmente sviluppate da piccoli centri di ReS o da apposite start-up, le quali non hanno poi la struttura finanziaria per avviare il processo di produzione; altrettanti sono i casi di piccole organizzazioni che raggiungono il progresso tecnologico ma che hanno incontrato barriere economiche per la certificazione dello stesso.

Un altro segmento del processo produttivo è quello relativo ad una pre-processing delle materie prime ante utilizzo nel processo di produzione di SAF; questo segmento è caratterizzato da specifici asset e competenze che spesso sono possedute da aziende specializzate, il cui nucleo predominante è quello della ricerca e sviluppo ed i cui volumi produttivi sono generalmente inferiori rispetto ad i volumi caratterizzanti l'industria SAF.

L'industria che presenta la struttura finanziaria, i volumi produttivi, la struttura distributiva e le capacità tali da garantire una conversione efficiente alla produzione di SAF è quella energetica. Queste aziende hanno la struttura tale da poter assumere il ruolo di integratore delle diverse tecnologie e garantire la produzione di adeguati volumi di SAF.

L'elevata dispersione delle risorse e capacità necessarie, e la forte necessità di specializzazione espone il settore ad elevati costi di transazione e ad alto rischio di opportunismo. D'altro lato la complessità tecnologica che interessa ogni tassello di questa filiera rende proibitivo lo sviluppo delle diverse competenze in-house.

La panoramica offerta in questa sezione mostra un importante elemento di complessità che contribuisce allo stallo dell'offerta SAF.

### **Gestione dei rapporti con gli altri attori della filiera**

Tenendo presente la complessità del settore, gli aspetti relativi alla gestione del rischio dell'investimento e alle difficoltà nell'acquisizione e costruzione del bundle di risorse e capacità necessarie, di cui abbiamo precedentemente parlato, approfondiamo quelli che sono i rapporti di forza tra gli attori della filiera, i quali, probabilmente, costituiscono il maggior ostacolo allo sviluppo dell'offerta SAF<sup>147</sup>.

Riportiamo quelle che sono le caratteristiche di questa filiera:

- Alta complessità tecnologica;
- Alta asimmetria informative;
- Alta necessità di assets specializzati.

Queste tre caratteristiche genererebbero elevati costi di transazione che rendono l'opzione del mercato poco attraente.

---

<sup>147</sup> F. Afonso *et al.*, «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 febbraio 2023.

Adottando una visione dall'alto, possiamo semplificare la value-chain riconducendoci a 4 soggetti:

- Il fornitore di materie prime;
- Il nucleo produttivo contenente tutte le risorse necessarie;
- Gli acquirenti: aeroporti e compagnie aeree.

Valutando quelli che sono i rapporti di forza tra i diversi soggetti è evidente come il produttore venga schiacciato dagli altri attori della filiera, i quali presentano maggiori possibilità di avere la meglio nella value-appropriation.

Nel segmento a monte della value-chain si ha il fornitore di materie prime, ovvero il soggetto che possiede la risorsa scarsa e di valore in funzione della quale sono stati compiuti importanti investimenti specifici perché, ricordiamo, al variare della materia prima cambia il processo produttivo e con esso gli assets necessari. Il fornitore in forza degli investimenti specifici e della limitata disponibilità della risorsa presenta un grande potere contrattuale nei confronti del produttore e occupa una posizione dominante nella value-appropriation.

Nel segmento a valle gli acquirenti acquistano perché supportati da politiche incentivanti, ma dato il prezzo già notevolmente maggiore rispetto al carburante tradizionale il margine sui SAF è ridotto al minimo<sup>148</sup>.

Già in questa prima analisi sommaria si evince la posizione di svantaggio del produttore verso gli altri attori della filiera, ma andando ad esplodere la visione atomica adottata è possibile cogliere ulteriori dinamiche che interessano il nucleo produttivo.

Come visto in precedenza risorse e capacità necessarie risultano disgregate tra diverse organizzazioni ed il più delle volte i know how tecnici relativi ai SAF non vengono posseduti dalla grande azienda produttrice ma da piccole start-up o da imprese di ricerca e sviluppo così come alcuni assets specifici. Questa configurazione denota la presenza di numerose asimmetrie informative che hanno un effetto negativo in termini di costi di transazione e pone il grande produttore in una posizione di dipendenza tecnologica nei confronti dei fornitori di input produttivi riducendo ulteriormente l'incentivo di quest'ultimo nell'effettuare l'investimento.

Riportiamo in tabella i principali ostacoli individuati nell'analisi:

*Table 10-Quadro problematiche*

<b>Problematica</b>	<b>Soggetto esposto</b>
Difficoltà internalizzare benefici sociali	FILIERA
Incertezza tecnologica	PRODUTTORE
Rischio investimenti	PRODUTTORE

<sup>148</sup> J. A. Okolie *et al.*, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways», *iScience*, vol. 26, pag. 106944, 2023.

Domanda generica	PRODUTTORE
Difficoltà nel comporre il bundle di risorse e capacità	PRODUTTORE
Difficoltà per le certificazioni di nuovi percorsi SAF	ReS
Asimmetrie informative	FILIERA
Assets specifici	FILIERA
Costi di transazione	FILIERA
Dipendenza dal fornitore di MP	PRODUTTORE

### **Configurazioni risolutive**

Le più recenti evidenze empiriche mostrano l'affermarsi di un trend relativo alla costituzione di reti strategiche tra i diversi attori della filiera SAF: fornitori materie prime, fornitori input produttivi, società di ricerca e sviluppo, aziende produttrici, aeroporti, compagnie aeree e stakeholder.

I legami che interessano queste reti strategiche si manifestano principalmente attraverso accordi offtake, joint venture e partnership<sup>149</sup>.

Riportiamo in primo luogo la teoria delle reti strategiche ed in seguito analizzeremo diverse azioni strategiche condotte dalle principali imprese del settore.

### **Reti strategiche**

Le reti strategiche sono “legami interorganizzativi stabili che sono strategicamente importanti per le imprese partecipanti”. Possono assumere la forma di alleanze strategiche, joint venture, partenariati acquirente-fornitore a lungo termine e altri legami”<sup>150</sup>.

Le reti strategiche nascono come soluzioni a mercati in cui è essenziale la co-specializzazione e l'integrazione del rapporto tra fornitore e cliente affinché il business possa essere sostenibile. Le reti strategiche si fondano su rapporti tra imprese di diversa natura ma accomunati da una durata temporale di medio-lungo periodo, una logica di gestione comune di informazioni e capacità e la condivisione del rischio.

La configurazione raggiunta da diverse imprese in una rete strategica fa sì che migliori l'efficienza delle transazioni e che vengano ridotte le asimmetrie informative per effetto della cospecializzazione delle risorse, l'apprendimento reciproco e la massimizzazione dei benefici derivanti da attività indipendenti, ottenendo, con questo assetto, una maggiore creazione di valore.

Tradizionalmente, i teorici delle reti con un background in sociologia o teoria dell'organizzazione si sono concentrati sulle implicazioni della struttura della rete per la creazione di valore. La

<sup>149</sup>Alice De Robbio; Scelte cooperative fra agenti in una supply chain

<sup>150</sup> Gulati, Nohria e Zaheer, 2000: 203

configurazione della rete in termini di densità e centralità<sup>151</sup>, ad esempio, è stata considerata un importante fattore determinante dei vantaggi della rete, come accesso, tempistica e benefici di riferimento<sup>152</sup>. Inoltre, si è ipotizzato che la dimensione della rete e l'eterogeneità dei suoi legami abbiano un effetto positivo sulla disponibilità di informazioni preziose per i partecipanti all'interno di quella rete<sup>153</sup>.

La comparsa di reti di imprese in cui coesistono meccanismi di mercato e di governance gerarchica ha ampliato significativamente la gamma di possibili assetti organizzativi per la creazione di valore<sup>154</sup>. Di conseguenza, gli studiosi di gestione strategica e imprenditorialità sono andati oltre argomenti strutturali per esplorare l'importanza dei meccanismi di governance come la fiducia<sup>155</sup> e l'importanza delle risorse e delle capacità<sup>156</sup>, in particolare quelle di fornitori e clienti<sup>157</sup>, per la creazione di valore. Ad esempio, nel loro studio sull'industria biotecnologica canadese, Baum, Calabrese e Silverman<sup>158</sup> hanno scoperto che le start-up biotecnologiche possono migliorare le loro prestazioni configurando alleanze in reti che consentano loro di sfruttare le capacità e le informazioni delle loro aziende partner dell'alleanza. Oltre a consentire l'accesso alle informazioni, ai mercati e alle tecnologie, le reti strategiche offrono il potenziale per condividere il rischio, generare economie di scala e di scopo<sup>159</sup>, condividere conoscenze e facilitare l'apprendimento, e raccogliere i benefici che derivano da attività interdipendenti come i sistemi di flusso di lavoro<sup>160</sup>. Altre fonti di valore nelle reti strategiche includono un time-to-market ridotto<sup>161</sup>, una maggiore efficienza delle transazioni, una riduzione delle asimmetrie informative e un migliore coordinamento tra le imprese coinvolte in un'alleanza<sup>162</sup>.

---

<sup>151</sup> Freeman LC. 1979. Centralità nei social network: chiarimenti concettuali. *Social Network* 1

<sup>152</sup> Burt RS. 1992. *Buchi strutturali: la struttura sociale della concorrenza*. Pressa dell'università di Harvard: ponte della camma, MA.

<sup>153</sup> Granovetter MS. 1973. La forza dei legami deboli. *Giornale americano di sociologia* 78

<sup>154</sup> Doz Y, Hamel G. 1998. *Vantaggio dell'Alleanza*. Harvard Stampa aziendale: Boston, MA.

<sup>155</sup> Lorenzoni G, Lipparini A. 1999. La valorizzazione delle relazioni interaziendali come capacità organizzativa distintiva: uno studio longitudinale. *Strategic Management Journal* 20(4)

<sup>156</sup> Gulati R. 1999. Posizione e apprendimento della rete: l'influenza delle risorse della rete e delle capacità dell'impresa sulla formazione di alleanze. *Giornale di gestione strategica* 20(5)

<sup>157</sup> Afuah, Allan. "How much do your co-opetitors' capabilities matter in the face of technological change?." *Strategic management journal* 21.3 (2000): 397-404.

<sup>158</sup> Joel A. C. Baum, Tony Calabrese, Brian S. Silverman; Don't go it alone: alliance network composition and startups' performance in Canadian biotechnology

<sup>159</sup> Katz e Shapiro, 1985; Shapiro e Varian , 1999

<sup>160</sup> Blankenburg Holm, Eriksson e Johanson , 1999

<sup>161</sup> Kogut, 2000

<sup>162</sup> Gulati et al., 2000

## **Analisi degli attuali sviluppi del mercato SAF**

L'attuale ecosistema produttivo di carburanti sostenibili per l'aviazione ha intrapreso un'evoluzione diretta al raggiungimento di una configurazione di equilibrio capace di sbloccare l'offerta di SAF; tale configurazione è in linea con la teoria delle reti strategiche ed è caratterizzata da:

- Offtake agreement<sup>163</sup>;
- Integrazione tecnologica tra diverse società specializzate;
- Joint venture innovative<sup>164</sup>;
- Coproduzione e cospecializzazione.

Tali forme consentono la creazione di legami interaziendali di lungo periodo che sono alla base di cluster aziendali finalizzati alla massimizzazione della creazione di valore attraverso l'efficientamento delle transazioni e l'integrazione tecnologica. L'ecosistema che si sta andando a delineare prevede la condivisione di molteplici know-how consentendo un miglioramento dell'apprendimento tra i diversi attori della filiera, i quali si trovano a cooperare in diversi progetti di ricerca e sviluppo e di produzione. Le maggiori informazioni scambiate fanno sì che le asimmetrie informative si riducano, ciò genera una riduzione dei costi di transazione, dovuta ad una minore esposizione a comportamenti opportunistici della controparte.

Un ulteriore elemento centrale nel superamento degli ostacoli che hanno limitato la crescita dell'offerta di SAF è la co-produzione. Il modello della co-produzione permette di massimizzare il valore creato con l'integrazione di risorse complementari possedute da diverse aziende, attraverso i legami interaziendali sopracitati, e generando un incentivo agli investimenti specifici. Le aziende unite in una joint venture o in una partnership trovano un contesto favorevole per effettuare investimenti specifici ed internalizzare i benefici derivanti dalla complementarità degli assets. Questi meccanismi inseriti in un contesto caratterizzato da un'elevata complessità tecnica, come quello dei SAF, generano risultati ancor più soddisfacenti a livello interaziendale in quanto la complessità e la varietà di opzioni produttive impone la necessità di effettuare investimenti specifici a tutte le parti interessate nella produzione. Questa dinamica permette di superare il concetto della coproduzione<sup>165</sup> sostituendolo con quello della cospecializzazione ed aprendo le porte ad un approccio sistemico come chiave per il superamento dello stallo produttivo di SAF. L'efficienza del nucleo produttivo viene

---

<sup>163</sup> CAAFI ;Aviation's Market Pull for SAF (Sustainable Aviation Fuel)

<sup>164</sup> Seyedesmaeil Mousavi, Bart Bossink, Corporate-NGO partnership for environmentally sustainable innovation: Lessons from a cross-sector collaboration in aviation biofuels, Environmental Innovation and Societal Transitions, Volume 34, 2020.

<sup>165</sup> Byun, J., Han, J., 2020. Strategia economicamente fattibile dei biocarburanti cellulosici: coproduzione di pentandioli. Energia 193, 116797.



raggiunta dalla condivisione di risorse complementari e assets specializzati all'interno di reti strategiche.

La razionalizzazione della complementarità tecnologica risiede, quindi, nella gestione dei rapporti tra i diversi attori della value chain i quali uniti in joint venture o partnership sfruttano sinergie produttive garantite dall'accoppiamento di risorse complementari<sup>166</sup>.

Attori fondamentali delle reti strategiche nel mercato SAF sono le compagnie aeree le quali, nell'ottica del raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione imposti, stimolano la produzione di SAF attraverso accordi offtake e partecipazione a progetti di ReS.

In particolare, gli accordi di off-take sono dei contratti con cui il produttore di una risorsa si impegna a vendere a un acquirente determinate quantità di beni imminenti a prezzi stabiliti e per un determinato numero di anni. Il loro scopo è dunque quello di difendere un accordo di fornitura dalle turbolenze dei mercati limitando i rischi per le parti coinvolte. Normalmente viene negoziato prima della costruzione di una fabbrica o di un impianto per garantire un flusso di mercato e di entrate per la sua produzione futura. Gli accordi di offtake sono tipicamente utilizzati per aiutare la società di vendita ad acquisire finanziamenti di progetti per future costruzioni, progetti di espansione o nuove attrezzature attraverso la promessa di reddito futuro e la prova della domanda esistente per i beni.

Questi accordi sono spesso utilizzati nello sviluppo delle risorse naturali, situazione analoga alla costruzione di impianti SAF, dove i costi di capitale sono significativi, e l'azienda vuole una garanzia che i suoi prodotti saranno venduti.

L'accordo offtake svolge un ruolo importante per il produttore. Se gli istituti di credito possono vedere che l'azienda ha numerosi clienti in fila prima dell'inizio della produzione, è più probabile che approvino l'estensione di un prestito o di un credito. Quindi questo meccanismo rende più facile ottenere finanziamenti per costruire una struttura.

Oltre a fornire un mercato garantito e una fonte di reddito per il prodotto di un'azienda, un accordo di offtake consente al produttore/venditore di garantire un livello minimo di profitto per il suo investimento. Poiché gli accordi di assunzione spesso aiutano a garantire fondi per la creazione o l'espansione di una struttura, il venditore può negoziare un prezzo che garantisca un livello minimo di rendimento sui beni associati, riducendo così il rischio associato all'investimento.

---

<sup>166</sup> Kristiana Santos, Laurence Delina, Soaring sustainably: Promoting the uptake of sustainable aviation fuels during and post-pandemic, Energy Research & Social Science, Volume 77, 2021.

Gli accordi di offtake possono fornire un vantaggio anche agli acquirenti, funzionando come un sistema per garantire le merci a un prezzo particolare. Ciò significa che i prezzi sono fissi per l'acquirente prima che inizi la loro produzione. Fare questo può fungere da copertura contro le future variazioni dei prezzi, specialmente se un prodotto diventa popolare o una risorsa diventa scarsa, facendo sì che la domanda superi l'offerta, come è probabile nel mercato SAF.

Gli accordi di offtake includono anche clausole di default che delineano il ricorso, comprese le sanzioni, che una delle parti ha nel caso in cui vi sia una violazione di una o più clausole.

L'impatto che gli accordi offtake hanno avuto nello stimolare l'offerta è stato importantissimo. Facendo riferimento ai dati disponibili sul sito IATA<sup>167</sup> risulterebbe che dei 93,9 bilion liters/years di capacità progettata di impianti SAF, 51,3 siano riconducibili ad offtake agreements. Questi dati forniscono una chiara evidenza della centralità di questo strumento nello sviluppo SAF.

La sezione che ci apprestiamo a trattare offrirà un'analisi di maggior dettaglio di quelli che sono i rapporti interaziendali che stanno interessando il settore dei SAF.

L'analisi verrà eseguita sulla base di informazioni raccolte dal sito IATA e dagli ultimi rapporti CAAFI<sup>168</sup> e verrà condotta prima analizzando rapporti volti a risolvere una specifica frizione e poi cogliendo le strutture degli ecosistemi industriali capaci di sviluppare, nel contesto SAF, un business sostenibile.

I segmenti sui quali ci soffermeremo sono:

- Ricerca e sviluppo;
- Certificazione tecnologica;
- Fornitura materie prime;
- Fornitura input produttivi;
- Produzione;
- Distribuzione.

---

<sup>167</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF.aspx>

<sup>168</sup> <https://www.caafi.org/#>

## Ricerca e sviluppo

Come detto in precedenza, la tecnologia SAF non ha ancora raggiunto un livello di maturità adeguato: molte delle tecnologie per la produzione non sono ancora state certificate e molti passi in avanti possono essere condotti in termini di efficienza.

L'aspetto tecnologico, per il profondo legame che presenta con le materie prime, è centrale nella valutazione di fattibilità economica del progetto e per la sostenibilità dell'industria. Dato tale contesto le aziende del settore sono continuamente a lavoro per ampliare la gamma di materie prime adeguate alla produzione di SAF, in modo da risolvere problematiche legate alla disponibilità di materie prime e alla rivalità con altri settori. Altro topic sul quale si concentra la ricerca odierna è il miglioramento del livello massimo di miscelazione permesso per i SAF che consentirebbe un abbattimento più efficace delle emissioni.

Gli attori principali di questo segmento sono:

- Startup SAF;
- Grandi industrie petrolchimiche;
- Compagnie aeree;
- Stati o ONG.

I know-how per l'innovazione del settore sono posseduti o da piccole società di ricerca e sviluppo nate appositamente per colmare le lacune nella tecnologia SAF o dalle grandi industrie chimiche o petrolchimiche. Sono molteplici i casi di collaborazione tra questi due enti come il caso di Honeywell ed Eni o di Sasol e Topsoe nei quali le aziende si uniscono in Joint venture per avere accesso a risorse complementari e svilupparne di nuove.

Sono altrettanto diffusi i casi di sovvenzioni da parte di altri attori della filiera verso quelli che sono i potenziali innovatori. La presenza di uno ostacolo allo sviluppo della produzione di SAF è sotto gli occhi di tutti, ciò spinge sia Stati ed ONG che compagnie aeree e consorzi costituiti da diversi stakeholder a stimolare, attraverso investimenti o sovvenzioni, l'offerta di SAF. Lo Stato così come le ONG stimola questa industria in quanto consci del beneficio sociale che risiede in questi prodotti<sup>169</sup>;

---

<sup>169</sup> Seyedesmaeil Mousavi, Bart Bossink, Corporate-NGO partnership for environmentally sustainable innovation: Lessons from a cross-sector collaboration in aviation biofuels, Environmental Innovation and Societal Transitions, Volume 34, 2020.

ad esempio la “Aviation climate taskforce” ha offerto una sovvenzione di ricerca alla società Susteon specializzata nell’offrire soluzioni tecnologiche ad impatto zero. Le compagnie aeree così come i consorzi stimolano l’innovazione mirando al miglioramento delle condizioni economiche del business. Ad esempio, sbloccare la produzione di SAF derivante da una nuova materia prima potrebbe consentire una riduzione del differenziale di prezzo rispetto ad i carburanti tradizionali. Così come ha fatto la società United Airlines investendo 5 milioni per la produzione di SAF a partire da alghe.

Nell’analisi di questi rapporti interaziendali non va trascurato l’aspetto relativo al marketing. Ad oggi l’attenzione sociale sulla questione ambientale è molto elevata e ciò spinge le diverse imprese ad adottare politiche green come potenziale fonte di vantaggio competitivo. Anche nel settore dell’aviazione vi è una sorta di concorrenza nell’apparire più attenti dei competitor all’impronta ambientale del proprio business. Le aziende intraprendono questo percorso con la partecipazione a diversi progetti sostenibili con il fine di costruire una propria credibilità ed identità green. Progetti che possono essere ricondotti a questa casistica sono i voli 100% SAF effettuati nel 2023 i quali sono frutto di diverse collaborazioni come ad esempio: Gulfstream e RollsRoyce; Airbus e Dussault aviation o ancora Emirates in collaborazione con GE aviation, Boeing, Neste e Honeywell<sup>170</sup>.

## **Certificazione**

L’attuale sistema di certificazione rappresenta dal punto di vista dei tempi un bottleneck e dal punto di vista dei costi un ostacolo difficilmente superabile per le imprese innovatrici. La natura dei costi è duplice ma la quota principale risiede nelle fasi di test e studio di fattibilità che anticipano l’avvio del processo burocratico. La configurazione risolutiva che empiricamente rileva in questa fase è la collaborazione tra aziende innovatrici e quindi potenziali produttrici di SAF e aziende produttrici di aeromobili. Tale collaborazione prevede quindi la condivisione di risorse complementari (ad esempio il motore per eseguire i test) e la condivisione degli oneri previsti per la certificazione. L’incentivo che spinge le aziende produttrici di aerei a collaborare nel processo di certificazione risiede nella compatibilità garantita tra carburante e motore. L’aspetto per il quale un nuovo carburante sostenibile non per forza sarà compatibile con tutti i motori con lo stesso livello di miscelazione lascia spazio ad una sorta di specificità tra carburante e motore. Esempi recenti di queste collaborazioni sono quelli tra SkyNRG, società produttrice di biofuels, e Boeing, società produttrice di aerei; altro esempio è la collaborazione tra Kenya airways, compagnia aerea, ed ENI società produttrice. Il rapporto tra le due società può anche evolvere con l’acquisto del SAF certificato da parte del partner il quale andrà poi a svolgere il ruolo di distributore, è questo il caso di Boeing nel primo esempio riportato.

---

<sup>170</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF.aspx>

## Produzione

Dal punto di vista tecnico le competenze necessarie per la produzione SAF sono relative a diverse nicchie dell'industria chimica, ciò comporta una frammentazione di tali conoscenze lungo la value chain<sup>171</sup>. Questa frizione, relativa all'incompletezza delle conoscenze possedute dalla singola impresa, viene risolta attraverso collaborazioni, joint venture e partnership. La creazione di questa rete consente l'incontro tra conoscenze complementari e rende possibile la produzione di SAF. I soggetti che costituiscono queste alleanze possono essere diversi in termini di dimensioni e mercati ma sono accomunati dal possedere preziosi know-how utili alla produzione di SAF.

Un esempio riconducibile al 2023 è la partnership tra Praj e Axens<sup>172</sup> nella quale:

Praj porta in tavola una comprovata esperienza in soluzioni modularizzate, servizi di integrazione per progetti completi e tecnologia per la produzione di isobutanolo ed etanolo a basso tenore di carbonio da materie prime bio-sourced convenzionali.

Axens fornirà le sue tecnologie Jetanol™ Alcohol-To-Jet (disidratazione, oligomerizzazione dell'olefina e fasi di idrogenazione), soluzione catalitica, attrezzature e servizi (formazione, assistenza tecnica) per la conversione degli alcoli in SAF.

Altro esempio è la collaborazione tra Lanzajet, leader nella tecnologia SAF, e Indian Oil, multinazionale indiana del petrolio e del gas.

Analizzando i suddetti casi evidenziamo nella prima partnership, tra Praj e Axens, un'integrazione tecnologica tra due imprese che vanno reciprocamente a completare i rispettivi bagagli di competenze<sup>173</sup>. Nel secondo caso analizzato, il rapporto fonda su una complementarità di risorse: Indian oil partecipa con il capitale e Lanzajet partecipa offrendo il know how necessario.

Un'ultima casistica che riportiamo è la nascita della joint venture Blue blade costituita da United airlines, compagnia aerea, Tallgrass, leader nel settore energetico e delle infrastrutture e Green plains, produttore di carburanti a base di etanolo. Questa collaborazione va ad unire le conoscenze tecniche delle aziende specializzate nel settore energetico e a coinvolgere quello che è un futuro acquirente, United airlines. La partecipazione di quest'ultima compagnia è finalizzata all'apprendimento di

---

<sup>171</sup> Reimer, Jeffrey J., and Xiaojuan Zheng. "Economic analysis of an aviation bioenergy supply chain." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (2017): 945-954.

<sup>172</sup><https://www.axens.net/resources-events/news/pr-axens-and-praj-industries-limited-sign-mou-sustainable-aviation-fuel-saf>

<sup>173</sup> Araújo, Renato, and Mário Franco. "The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review." *Journal of Cleaner Production* 314 (2021): 127975.

conoscenze importanti relative al futuro dei carburanti dell'aviazione, i quali rappresentano uno dei maggiori costi operativi per le compagnie aeree. Lo sviluppo di questi know how rende la compagnia un acquirente informato e quindi con un maggior potere contrattuale ed una minore dipendenza dai fornitori. Inoltre, la presenza di United airlines garantisce la presenza di acquirenti verso l'output dell'impianto oggetto della joint venture, oltre ad una transazione efficiente dovuta all'assenza di asimmetrie informative.

### **Accordi offtake**

Uno strumento centrale nell'ascesa del mercato SAF è l'offtake agreements<sup>174</sup> il quale, come visto in precedenza, è un contratto legale a lungo termine tra due parti in cui l'acquirente si impegna ad acquistare tutta o parte della produzione futura del produttore. Di solito viene inserito prima di istituire l'unità di produzione in modo da facilitare il finanziamento del progetto. L'obiettivo principale dell'accordo di assunzione è quello di consentire al produttore di ottenere un finanziamento facile e un acquirente garantito per i suoi prodotti futuri. Questo tipo di accordo avvantaggia sia l'acquirente che il venditore. Mentre il venditore ha un mercato assicurato per il suo prodotto, allo stesso tempo l'acquirente gode di protezione contro futuri aumenti dei prezzi e carenze di approvvigionamento.

Questo tipo di accordo, nel contesto dell'aviazione, viene generalmente siglato tra compagnie aeree e grandi industrie del settore energetico e della chimica. La compagnia aerea si impegna ad acquistare volumi di SAF pari alla capacità produttiva dell'impianto oggetto dell'accordo, ciò fornisce una garanzia per il produttore e facilita la ricerca di capitali dello stesso.

Le aziende produttrici di SAF sono spesso aziende già affermate in altri mercati, come quello petrolchimico, e nell'intento di seguire la transizione che sta interessando il settore dei trasporti migrano verso nuovi mercati più sostenibili. La strategia per effettuare tale transizione è quella di lanciare diversi progetti relativi a prodotti con un minore impatto ambientale, i quali però presentano un elevato livello di incertezza. Il finanziamento di tali progetti richiede l'ausilio di capitali esterni<sup>175</sup>. Queste grandi multinazionali escludono l'opzione di un aumento del capitale per attrarre nuovi investitori per non imbattersi in una diluizione del capitale sociale. L'opzione che viene invece preferita è quella di raccogliere investimenti per i singoli progetti. I progetti SAF, per le ragioni riportate in precedenza, sono caratterizzati da un elevato rischio che tende a scoraggiare gli investitori.

---

<sup>174</sup> Wang, Z. Juju, et al. "Quantitative policy analysis for sustainable aviation fuel production technologies." *Frontiers in Energy Research* 9 (2021): 751722.

<sup>175</sup> Ramponi, Loretta. "Finanziare la crescita sostenibile: il piano d'azione dell'Unione Europea."

In questo contesto gli accordi offtake, oltre a fornire una maggiore liquidità per l'azienda produttrice, mitigano il rischio dell'investimento garantendo un mercato al prodotto realizzato. Sono molteplici i casi in cui imprese che non hanno ancora costruito i propri impianti hanno già venduto la loro intera capacità produttiva. Questa è la dinamica che rende gli accordi offtake dei facilitatori nella raccolta di capitali per la realizzazione di impianti produttivi. Tali accordi rendono, quindi, possibile operare per contratti futuri e ciò li rende uno strumento essenziale nello sviluppo del mercato SAF.

È diffusa la pratica con la quale le imprese leader del settore pianificano l'aumento della capacità produttiva e lo rendono esecutivo solo nel momento in cui è stato sottoscritto l'accordo di fornitura che sancisce la presenza di un acquirente per la nuova capacità progettata e riduce i costi del capitale. A livello strategico si persegue l'obiettivo della realizzazione della scala efficiente.

Altro caso è la realizzazione di diversi impianti produttivi in diverse aree geografiche sempre sulla base di accordi offtake. Il fine è di offrire prossimità a diversi mercati ed acquirenti ed efficientare le transazioni, oltre a sfruttare possibili contesti industriali e/o normativi favorevoli offerti dai diversi paesi.

In entrambi i casi citati i produttori fanno affidamento su un'unica tecnologia produttiva in forza dei know how acquisiti e delle economie di scala realizzabili.

Nel panorama SAF odierno, caratterizzato da incertezza dal punto di vista tecnologico, l'approccio consentito dagli accordi offtake trova ulteriore utilità per quelle aziende che mirano ad un'evoluzione tecnologica.

Un aspetto critico, per quanto riguarda la produzione di SAF, è quello della scelta del percorso produttivo. Tale scelta è complicata da una scarsa maturità tecnologica che rende incerti ed inaffidabili i confronti dal punto di vista economico ed ambientale dei diversi percorsi, ciò espone ad un elevato rischio i produttori. Il rischio viene aggravato dall'irreversibilità dell'investimento, non è agevole convertire un impianto destinato ad uno specifico processo produttivo ad un altro. In questo contesto va poi ad inserirsi il discorso relativo alle materie prime, la scelta di un determinato percorso impone l'esigenza di una fornitura di una determinata materia prima. Le materie prime necessarie per diversi percorsi SAF sono spesso soggette a limiti di disponibilità, sia da un punto di vista di quantità sia da un punto di vista logistico, ciò rende imprevedibile l'andamento di tale mercato. Anche questa fonte di incertezza può essere ricondotta alla scelta della tecnologia da adottare, rendendo tale decisione rischiosa al punto da paralizzare, in alcuni casi gli investimenti. È proprio in presenza di

tali circostanze che risulta risolutivo l'approccio per progetti e quindi gli accordi offtake<sup>176</sup>. Le aziende produttrici con gli accordi offtake sviluppano la possibilità di lanciare diversi progetti, basati su diverse tecnologie produttive, con diversi partner consentendo di fatto una riduzione del rischio attraverso una diversificazione del portafogli di progetti.

Le evidenze empiriche mostrano che la soluzione adottata dalle alcune aziende produttrici per superare le frizioni che interessano la fase di strutturazione di un progetto sia la diversificazione degli investimenti. Queste aziende lanciano diversi progetti, caratterizzati da diversi percorsi produttivi, andando così a mitigare i rischi e a sfruttare le opportunità offerte dai diversi territori. La costruzione di un portafogli di progetti diversificato consente in primo luogo una mitigazione del rischio dovuta al fatto che il produttore non risulterà dipendente dall'efficacia di un singolo percorso produttivo e tanto meno dal mercato una singola materia prima, e in secondo luogo è una strategia che consente di sfruttare le opportunità offerte da diversi territori i termini, ad esempio, di disponibilità di feedstock<sup>177</sup>.

Riportiamo di seguito alcuni dati sulle principali aziende produttrici di SAF ricavati dall'ICAO SAF facilities dashboard<sup>178</sup>:

Table 11-Analisi aziende produttrici

COMPANY	# OFFTAKE AGREEMENTS	TOTAL OFFTAKE VOLUME (milion liters)	#COUNTRY	#PROCESS
Gevo	14	9550	1	3
Fulcrum	3	6719	2	1
Shell	6	2793	3	3
Neste	17	2452	4	1

Dai dati riportati è possibile evincere come vi sia una spaccatura rispetto l'adozione della strategia di diversificazione degli investimenti tra le grandi aziende produttrici. Le aziende che adottano questo modus operandi mirano, probabilmente, a costruire un adeguato bagaglio di capacità tale da garantire all'organizzazione un adeguato dinamismo ed una immediata flessibilità necessari per affrontare il contesto tecnologico incerto.

<sup>176</sup> Jenkins, Scott. "SAF Production Expands for a Low-Carbon Future." *Chemical Engineering* 129.5 (2022).

<sup>177</sup> Shahriar, Md Fahim, and Aaditya Khanal. "The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF)." *Fuel* 325 (2022): 124905.

<sup>178</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Production-Facilities.aspx>



Riportiamo di seguito alcuni dati sulle principali compagnie aeree impegnate in accordi offtake, ricavati dall'analisi del sito ICAO<sup>179</sup>:

Table 12-Analisi compagnie aeree

COMPANY	#OFFTAKE AGREEMENTS	TOTAL OFFTAKE VOLUME (milion liters)	#PARTNER	#PROCESS
Delta	8	3862	6	6
United	7	14299	6	6
JetBlue	6	1069	6	6
KLM	4	937	3	3
Lufthansa	4	3399	4	4
Ryanair	4	847	4	4
American Airlines	4	2134	4	4

Analizzando anche i dati relativi agli acquirenti, ovvero alle compagnie aeree, è possibile ipotizzare l'adozione di una simile strategia di diversificazione degli investimenti. Numerose compagnie aeree sono protagoniste in diversi accordi offtake con diversi produttori per impianti caratterizzati da diverse lavorazioni. La scelta di diversificare la fornitura potrebbe essere dovuta alla volontà delle compagnie aeree di non assoggettarsi all'andamento di un'unica miscela SAF e tanto meno alla stabilità finanziaria di un unico partner, ciò viene amplificato dalla modalità contrattuale che interessa questi rapporti la quale genera una partecipazione al rischio per l'acquirente ed un impegno sul lungo periodo di tempo.

Allo stesso tempo la partecipazione a diversi progetti potrebbe avere ragioni operative. Accordi per la costruzione di impianti con distinte collocazioni geografiche permettono maggiore efficienza lungo la filiera ed una riduzione dei costi di fornitura. In questo contesto è rilevante il ruolo di intermediazione degli hub aeroportuali.

### Quote di carbonio

L'introduzione di sistemi di compensazione basati su quote di carbonio permette di estendere la quota di potenziali interessati a soggetti non facenti parte della filiera. I crediti di carbonio costituiscono una razionalizzazione del concetto di sostenibilità offrendo alle aziende produttrici di SAF l'opportunità di internalizzare il beneficio sociale prodotto. Questa dinamica rende l'industria SAF appetibile a tutte quelle imprese coinvolte nei sistemi di compensazione delle emissioni, generando

<sup>179</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Offtake-Agreements.aspx>

un'ulteriore spinta alla crescita degli impianti produttivi<sup>180</sup>. La modalità principale con cui la domanda di quote di compensazione va a stimolare la produzione è la stessa di quella attuata dalla domanda di SAF, ovvero gli accordi offtake, ma con la differenza che spesso queste azioni vengono promosse da consorzi.

Un esempio è quello della Sustainable Aviation Buyers Alliance (SABA) che ha acquistato dal produttore World energy certificati SAF. Il consorzio è costituito da Bank of America, Boon supersonic, Boston consulting group, JP Morgan e Meta e ha promosso un acquisto collettivo di quote di compensazione ad un prezzo tale da coprire gran parte o tutto il premio associato ai SAF. Questo meccanismo genera quindi un duplice stimolo nel mercato SAF: uno diretto alle industrie produttrici di SAF attraverso la domanda dei crediti di compensazione e l'altro diretto alle compagnie aeree che si vedono alleggerite del sovrapprezzo che caratterizza i SAF consentendo una crescita della domanda del carburante sostenibile per l'aviazione.

Tale discorso può essere allargato alle singole società sottoposte a sistemi di compensazione delle emissioni che necessitano dei certificati SAF per compensare le emissioni dei viaggi aziendali.

### **Ruolo dello stato**

Nelle fasi di pre-commercializzazione e commercializzazione che oggi interessano il mercato dei SAF è essenziale la presenza dei governi nello stimolare la crescita della produzione e semplificare l'incontro tra domanda e offerta. Sono numerose le politiche che fanno leva sui meccanismi di reti strategiche in evoluzione nel panorama SAF. In particolare, è duplice la natura degli interventi degli Stati in questo mercato: da una parte vengono esperite azioni di carattere normativo, come mandati, meccanismi di compensazione ecc., dall'altra si hanno interventi di natura operativa attraverso la partecipazione degli Stati a progetti o attraverso l'istituzione di partenariati pubblico privato. Il fine ultimo di entrambe le categorie di azioni è quello di guidare le aziende coinvolte nella filiera alla decarbonizzazione del settore.

Le azioni normative permettono il raggiungimento di una sostenibilità economica per il mercato, garantendo la domanda con apposite normative, quali il sistema ETS o CORSIA, ed i mandati di miscelazione che rendono obbligatorio l'utilizzo di una certa percentuale di SAF, e sostenendo l'offerta attraverso incentivi fiscali e sovvenzioni come sancito nell'Inflation reduction act americano.

---

<sup>180</sup> Alam, Asiful, Md Farhad Hossain Masum, and Puneet Dwivedi. "Break-even price and carbon emissions of carinata-based sustainable aviation fuel production in the Southeastern United States." *GCB Bioenergy* 13.11 (2021): 1800-1813.

È però sempre maggiore la penetrazione dei governi nella value-chain come parte attiva della filiera. I segmenti che presentano una maggiore partecipazione degli Stati sono quelli relativi alla ricerca e sviluppo e quello relativo all'offerta. L'ingresso dello Stato in questi segmenti avviene secondo diversi schemi:

- **Joint venture tra centri di ricerca pubblici**<sup>181</sup>: tale schema viene attuato per sfruttare la complementarità tra i know how sviluppati all'interno dei diversi centri di ricerca e generare maggior dinamismo nel panorama tecnologico. Iniziative di questo tipo sono state ad esempio intraprese tra Finlandia ed India che hanno istituito una jointventure focalizzata sul carburante per l'aviazione sostenibile a basse emissioni di carbonio prodotto con biomassa rinnovabile e risorse di scarto.
- **Partnership tra Stati**: questi rapporti mirano alla costruzione di infrastrutture o centri produttivi. L'aspetto di complementarità, in questo caso, rileva sia in termini di risorse che di capacità. È infatti possibile sfruttare al meglio risorse o condizioni ambientali ed economiche, uniche di un determinato territorio oltre che la condivisione di know how, ciò massimizza l'efficienza dell'investimento. Un esempio è l'impianto di produzione di metanolo da CO<sub>2</sub> utilizzando l'energia solare-termica che fornisce combustibili verdi per l'industria marittima e l'aviazione. L'impianto verrà realizzato a Port Augusta (AUS) grazie ad un finanziamento di 40 milioni offerto dalla collaborazione di governo australiano e governo tedesco. Questa partnership permette di sfruttare risorse naturali disponibili in Australia, come il terreno sul quale è possibile impiantare i pannelli solari necessari, e il tessuto aziendale australiano che garantisce l'offerta di input necessari alla produzione di metanolo, come la CO<sub>2</sub>.
- **Partenariati pubblico privati**: I PPP<sup>182</sup> risultano un'opzione molto interessante per ridurre i rischi degli investimenti e garantire i flussi di capitale necessari per sbloccare l'offerta di SAF. Un esempio deriva dalla recente notizia per la quale All Nippon Airways (ANA) ha accettato per la prima volta di utilizzare carburante per l'aviazione sostenibile (SAF) che è stato miscelato in Giappone nell'ambito di un'iniziativa pubblico-privato guidata dall'Ufficio dell'aviazione civile del Ministero del Territorio, delle Infrastrutture, dei Trasporti e del

---

<sup>181</sup> STEPHEN P. OSBORNE ; THE NEW PUBLIC GOVERNANCE? Emerging perspectives on the theory and practice of public governance. (2010)

<sup>182</sup>D. Grimsey e M. K. Lewis, «Are Public Private Partnerships value for money?: Evaluating alternative approaches and comparing academic and practitioner views», *Accounting Forum*, vol. 29, n. 4, pagg. 345–378, 2005.

Turismo. ANA procurerà il SAF misto da Itochu Corp e utilizzerà il carburante sui voli internazionali e nazionali di ANA dall'aeroporto di Haneda e Narita.

L'efficienza di tale schema risiede nella capacità del pubblico di internalizzare i benefici sociali nelle logiche di business promovendo la decarbonizzazione del settore attraverso l'utilizzo di SAF.

Analizzando le più recenti tendenze relative alle azioni dei governi nel panorama della produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione è possibile sviluppare un'ulteriore chiave di lettura che consenta di cogliere a pieno gli schemi di incentivi che si celano dietro alcune dinamiche. Per sviluppare una comprensione più profonda di quello che è il ruolo che i governi stanno assumendo in recenti sviluppi è possibile analizzare 3 eventi verificatisi nei primi mesi del 2023:

- Il governo di Manitoba finanzia, con circa 3milioni, la progettazione di un impianto di produzione SAF che verrà gestito da Azure sustainable fuels corporation.
- Washington collabora alla realizzazione di un impianto SAF di SkyNRG sul proprio territorio.
- Washington collabora con l'azienda Twelve alla realizzazione di un impianto di produzione di carburante e-jet sul proprio territorio.

Tutti e tre i casi vedono come aspetto centrale la promozione dei propri territori da parte degli Stati. L'incentivo primario che spinge gli Stati ad intraprendere gli sforzi necessari per rendere appetibile l'opzione di investimento nel proprio territorio è l'impatto che questi hanno sull'economia locale. In particolare, lo sviluppo della filiera produttiva genera sia benefici diretti per uno Stato, come la crescita del PIL e dell'occupazione, sia esternalità positive per i mercati a monte e a valle rispetto alla produzione di SAF, ad esempio si andrebbero a generare esternalità positive verso il settore agricolo e si andrebbe a promuovere la ricerca e sviluppo. Lo sviluppo dell'industria SAF genera, quindi, per uno Stato, un'importante opportunità di crescita economica e sviluppo. Gli Stati provano a cogliere tale opportunità attirando le aziende produttrici con la creazione di un ecosistema, sia dal punto di vista di supply chain che di sistema normativo, che favorisca il successo dell'investimento. La realizzazione di tali ecosistemi si fonda su: risorse naturali del territorio, tradizione ed esperienza nel settore, infrastrutture logistiche, contesto aziendale capace di offrire input necessari e apparato normativo incentivante. A livello strategico significherebbe garantire uno sfruttamento efficiente di quelle che sono le risorse offerte dalla regione massimizzandone i benefici e sfruttando la complementarità con l'industria SAF.

A sostegno di questo ragionamento dettagliamo i casi precedentemente citati.

Il Manitoba finanzia con 2,9 milioni la progettazione di un impianto di produzione di SAF per la Azure sustainable fuels corporation. Il progetto viene strutturato a partire da quelle che sono le risorse disponibili nella regione, ovvero: ampia disponibilità di energia rinnovabile e agricoltura locale specializzata in coltivazioni di colza e soia. Si stima che la realizzazione di tale progetto avrà un impatto positivo di 2 miliardi sull'economia di Manitoba attraverso la generazione di posti di lavoro, lo sviluppo del settore agricolo e con esso lo sviluppo delle piccole provincie<sup>183</sup>. La soluzione offerta da questa collaborazione risulta estremamente efficiente dal punto di vista economico generando l'incontro tra domanda e offerta di input per la produzione di SAF. L'ecosistema che si crea, oltre a garantire lo sviluppo economico del paese, permette alla azienda privata di ottimizzare la struttura dei costi e l'assetto produttivo. Infatti, l'amministratore delegato di Azure Douglas Cole ha affermato che la posizione di Manitoba offre diversi vantaggi, tra cui la vicinanza alle linee ferroviarie, l'accesso all'elettricità rinnovabile pulita e una ricchezza di produzione agricola rendendolo assolutamente entusiasta della nascita della collaborazione.

Il caso di Washington risulta ancora più entusiasmante nell'ottica della partecipazione dei governi alle reti strategiche volte alla produzione di SAF.

Il governo di Washington punta alla realizzazione della scala e si propone di posizionare lo Stato Washington come lo Stato più attraente e solidale per lo sviluppo dei SAF. Questo obiettivo viene perseguito attraverso:

- Realizzare un contesto normativo estremamente favorevole alla costruzione di nuovi impianti di produzione
- Offrire supporto all'intera filiera
- Creare un ambiente industriale competitivo che promuova l'innovazione tecnologica
- Evolvere la propria leadership nel settore dell'aviazione

Lo Stato di Washington intraprende questo percorso a partire dalla posizione di leader nelle industrie aeronautiche e aerospaziali storicamente occupata, ciò pone Washington in una posizione di vantaggio rispetto ad altre regioni per aspetti legati ad una conoscenza del settore e al possesso di know how complementari allo sviluppo dell'industria SAF. Altra fonte di vantaggio competitivo è la disponibilità di abbondanti risorse energetiche rinnovabili che costituiscono un input fondamentale per la produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione. I maggiori sforzi compiuti dal governo di

---

<sup>183</sup> Kalimo, Harri, et al. "Sustain, Filip Sedefov, Ólöf Söebeck and Eleanor Mateo able aviation fuels: common ground for a take-off. IES Policy Brief Issue 2017/05• November 2017." (2017).

Washington interessano, però, l'ambito normativo. È stata realizzata un'infrastruttura normativa che prevede sussidi e permessi di velocizzazione per la costruzione. I sussidi vengono offerti attraverso crediti di imposta che arrivano fino a 2\$ a gallone consentendo una drastica riduzione della differenza di prezzo rispetto al cherosene<sup>184</sup>. La norma che snellisce l'iter burocratico permette di accelerare le operazioni relative ai permessi e alla revisione ambientale per l'offerta di energia pulita.

La realizzazione di tale assetto ha attratto diverse aziende produttrici con diversi progetti aventi oggetto la realizzazione di impianti di produzione. Su tutte citiamo l'iniziativa di SkyNRG<sup>185</sup> di realizzare, nel distretto di Washington, un impianto del valore di 800 milioni di dollari. Nella scelta di SkyNRG è stata decisiva la presenza dei sussidi offerti dal governo, i quali oltre a sostenere dal punto economico l'industria, genera un'attenuazione del rischio di investimento stimolando, così, l'interesse di più investitori e agevolando la raccolta di capitali. L'impianto che verrà costruito utilizza un percorso AtJ che consiste nel fermentare i rifiuti di carbonio per produrre etanolo che viene poi convertito in carburante, le materie prime utilizzate sono quindi gas di scarico, metano e rifiuti agricoli, materie largamente offerte dall'economia di Washington.

È rilevante anche l'approdo della società di trasformazione del carbonio Twelve la quale promuove la produzione di un carburante sostenibile per l'aviazione a base di CO<sub>2</sub> e energia rinnovabile. Anche questa società ha trovato nella regione americana un contesto favorevole al proprio investimento, garantito dalla disponibilità di input necessari e dalla presenza sussidi agevolanti. Tale presenza contribuisce allo sviluppo del contesto aziendale e offre un'ulteriore spinta all'innovazione tecnologica aggiungendo competenze legate ad una nuova tecnologia in ascesa. Ciò rende Washington sempre più fulcro di questo mercato grazie all'ecosistema dinamico e diversificato che si sta sviluppando.

### **Approccio sistemico: la nascita di ecosistemi SAF**

Dopo aver discusso l'efficacia dei legami interaziendali nella risoluzione di frizioni che interessano 2, o al massimo 3, attori della value-chain<sup>186</sup>, è possibile allargare la visuale cogliendo le dinamiche collaborative che guidano l'intera filiera. L'approccio alla base di questa analisi è quello sistemico ovvero, si ricerca la comprensione di un fenomeno a partire dall'insieme delle pratiche che lo

---

<sup>184</sup> The White House; Building a clean energy economy: a guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action; January 2023, version 2

<sup>185</sup> SkyNRG; Summary Report – Sustainable Aviation Fuel Market Outlook 2023 – May 2023 update

<sup>186</sup> Rilling, V. Anatolitis and L. Zheng, "How to design Carbon Contracts for Difference - A systematic literature review and evaluation of design proposals," *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2022.

compongono, dai soggetti e dalle loro interazioni, senza trascurare altri elementi come ambiente, contesto, forze sociali, economiche, tecnologiche e così via.

In primo luogo, si ricercano le fonti di incentivo e di disincentivo che guidano le azioni delle aziende facenti parte della filiera cogliendo quali sono le forze alle quali sono sottoposte e in che direzione spingono. Ad oggi, il bottle-neck sembra interessare la produzione di SAF con l'offerta incapace di soddisfare la domanda.

La domanda di carburanti sostenibili per l'aviazione è guidata da compagnie aeree, ma i SAF non sono l'unico output di questa industria. I crediti di carbonio, o più in generale gli attributi ambientali che interessano la produzione, sono un output fortemente ricercato da aziende sottoposte a vincoli normativi per la tutela dell'ambiente. Entrambe gli attori, le compagnie aeree interessate ai SAF e le aziende di altri settori interessati ai crediti del carbonio, trovano nei piani di decarbonizzazione e nei regimi normativi i principali stimoli a generare domanda verso questa industria. La domanda, quindi, si genera a partire da forze esterne e non da meccanismi di mercato, ciò è dovuto all'esclusione di indici di sostenibilità dalle valutazioni di mercato. Numerose delle iniziative regolatorie hanno la finalità di internalizzare i danni e i benefici ambientali nelle logiche economiche<sup>187</sup>, come ad esempio il sistema di scambio di quote di emissione (ETS) dell'UE o il credito di imposta introdotto con l'inflation reduction act degli USA<sup>188</sup>. La presenza di una guida esterna, i cui obiettivi sono dichiarati, offre una garanzia sulla presenza di futura domanda per questi prodotti.

Il tassello successivo, risalendo la value chain, è quello della distribuzione. I principali attori di questo segmento sono gli aeroporti<sup>189</sup>, anch'essi risentono della pressione del regolatore e sono spesso una pedina decisiva nell'attuazione della volontà del governo al mercato dell'aviazione, data l'impronta pubblica che li caratterizza. Riportiamo gli esempi dell'aeroporto di Londra che si è reso protagonista di un importante incentivo per la fornitura di carburanti sostenibili che prevede la copertura del 50% dei costi aggiuntivi rispetto al carburante tradizionale; e dell'aeroporto svedese di Trollhättan-Vänersborg che diventerà il primo a passare interamente al carburante sostenibile per l'aviazione.

Le fasi finali della value chain risultano quindi pronte ad accogliere volumi di SAF tali da soddisfare gli obiettivi di decarbonizzazione, non presentando, di fatto, ostacoli allo sviluppo del mercato. Gli

---

<sup>187</sup> M. Adler, B. Peerlings, T. Boonekamp, E.S. van der Sman, M.N.A. Lim, A. Jongeling, S. Pel, *SEO amsterdam economics*, Report: The Price of Net Zero : Aviation Investments towards Destination 2050.

<sup>188</sup> The White House; Building a clean energy economy: a guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action; january 2023, version 2

<sup>189</sup>[https://www.icao.int/environmentalprotection/pages/ecoaairports.aspx?\\_gl=1%2ahxp5u%2a\\_ga%2aMTczMTA4NTA5LjE2NTI3MTI1Mjg.%2a\\_ga\\_992N3YDLBQ%2aMTY3ODI5Nzk3NS4yNy4xLjE2NzgzMlIxMTAuMC4wLjA](https://www.icao.int/environmentalprotection/pages/ecoaairports.aspx?_gl=1%2ahxp5u%2a_ga%2aMTczMTA4NTA5LjE2NTI3MTI1Mjg.%2a_ga_992N3YDLBQ%2aMTY3ODI5Nzk3NS4yNy4xLjE2NzgzMlIxMTAuMC4wLjA)

ostacoli interessano, invece, le fasi a monte della value chain. L'incertezza tecnologica, il complesso bundle di risorse e capacità necessarie, i grandi investimenti necessari e la pericolosa dipendenza dei mercati delle materie prime generano lo stallo della produzione.

Gli ostacoli citati possono essere superati attraverso una solida rete strategica che permette di sovrapporre i sistemi di incentivi dei diversi attori in modo da parcellizzare il rischio e condividere il valore creato. È bene sottolineare che il valore creato in un'economia integrata, sfruttando logiche di specializzazione e di complementarità, risulterebbe sensibilmente maggiore.

Il primo grande ostacolo riguarda la definizione delle specifiche del progetto ed in particolare la scelta del percorso produttivo dalla quale discende la materia prima necessaria. Quest'ultimo è un aspetto fondamentale perché espone il produttore alle fluttuazioni del mercato della materia prima selezionata con possibili implicazioni sulla value appropriation e sul costo del prodotto finale. Altra criticità relativa a questa fase è l'incertezza sull'efficienza del processo produttivo scelto in termini di costi, parametri di sostenibilità e scalabilità<sup>190</sup>. Nonostante la presenza di importanti volumi di domanda, è comunque presente il rischio di invenduto per i produttori scarsamente efficienti, ciò sommato all'incertezza tecnologica paralizza gli investimenti.

La costruzione di legami diretti tra le diverse compagnie presenti nella filiera consente di superare questi ostacoli.

La frizione data dalla presenza di una domanda “genarle” di SAF, incapace di attenuare i rischi percepiti dai produttori e dai loro investitori, può essere superata attraverso una domanda diretta della compagnia aerea al produttore. Questa idea prende forma con gli accordi offtake ovvero un accordo tra un produttore e un acquirente per l'acquisto o la vendita di porzioni dei prossimi prodotti del produttore. Tale accordo genera una sensibile riduzione del rischio sbloccando gli investimenti e risolvendo la frizione evidenziata. Gli accordi offtake rappresentano, inoltre, un adeguato strumento per la costruzione di un portafoglio diversificato<sup>191</sup> di progetti che consente alle compagnie produttrici di attenuare la dipendenza dei propri risultati dal successo di una specifica tecnologia produttiva.

Ben più articolata è la risoluzione della problematica delle materie prime, la quale è caratterizzata dal vincolo sulla disponibilità di feedstock e dalla necessità di specifici know how per il trattamento delle materie e per il processamento. Il vincolo sulla disponibilità dei feedstock ha una duplice natura, è

---

<sup>190</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT<sup>[1]</sup> Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport; Brussels, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final

<sup>191</sup> <https://www.md80.it/2023/06/06/iata-necessario-diversificare-le-fonti-dei-saf-per-incrementare-la-produzione/>



possibile parlare di disponibilità a livello globale, considerando la produzione aggregata, di una specifica materia prima, dei diversi paesi, e di una disponibilità locale che invece si riferisce ai volumi offerti da una specifica regione<sup>192</sup>. Tale distinzione risulta rilevante in quanto la disponibilità locale ha spiccate implicazioni in termini di indipendenza energetica e stabilità nelle condizioni di fornitura. Un'azienda produttrice che deve rivolgersi esclusivamente all'import per l'acquisto di materie prime risulta sensibilmente esposta alla competitività internazionale e alle fluttuazioni del mercato d'interesse. Il rivolgersi ad un fornitore unico internazionale di un determinato feedstock pone il produttore in una condizione di svantaggio in termini di potere contrattuale e quindi di value appropriation. Strategie che possono essere adottate dalle compagnie produttive per sfuggire alla dipendenza dal segmento a monte sono quelle della co-specializzazione e della diversificazione. La strategia di co-specializzazione prevede la realizzazione di un forte legame con l'azienda fornitrice, rafforzato e garantito sul lungo periodo, da investimenti specifici effettuati da entrambe le parti che portano a sinergie produttive e alla sub-additività dei costi. Il fatto che entrambe le parti creino un bundle di risorse altamente specializzato porta ad avere una reciproca dipendenza tra le due società la quale sorregge una configurazione di equilibrio collaborativa<sup>193</sup>. Tale configurazione consente di generare una quasi rendita che può essere internalizzata nel rapporto di fornitura. La co-specializzazione risulta un'opzione ottima per l'azienda produttrice che potrebbe così attenuare la dipendenza dal fornitore e svincolarsi dalla competitività internazionale oltre che beneficiare dell'efficienza operativa generata dalla collaborazione. Per gli stessi motivi questa configurazione non risulta molto attraente per una grande azienda fornitrice di materie prime che potrebbe sfruttare la crescita della domanda internazionale e il fatto che le risorse siano limitate per appropriarsi di maggior valore attraverso i meccanismi di prezzo. Potrebbero, invece, beneficiare di tale configurazione le piccole filiere locali di materie prime, le quali necessitano di un innesto per avviare la produzione.

In questo contesto risulta risolutivo l'intervento degli Stati. Per gli Stati le diverse frizioni presenti nelle fasi a monte della value chain vengono lette come delle opportunità. L'incentivo è quello di attrarre aziende produttrici di SAF nel proprio territorio in modo da beneficiare dello sviluppo economico garantito da questo indotto ed internalizzare, nella propria economia, le esternalità che questo crea stimolando i mercati complementari. Questa strategia può essere perseguita facendo leva sulle risorse naturali offerte dal territorio e costruendo un apparato normativo che incentivi la crescita del settore. I governi sono pronti ad attivare un'offerta specializzata di input per la produzione di SAF in modo da offrire una via di fuga ai produttori di SAF dalla pressione del mercato a monte. Integrare

---

<sup>192</sup> Capgemini Invent, «IDENTIFYING SUSTAINABLE PATHWAYS FOR SAF PRODUCTION».

<sup>193</sup> Tracey Dodd , Duygu Yegin; Deadlock in sustainable aviation fuels: A multi-case analysis of agency

i governi e le compagnie produttrici di SAF all'interno della stessa rete strategica consente di individuare una configurazione nella quale le frizioni vengono risolte e i benefici massimizzati. Gli Stati mettendo a disposizione le proprie risorse naturali permettono di risolvere la problematica legata alla fornitura che interessa i produttori e allo stesso tempo è una azione che attiva grandi benefici economici e sociali per la regione. Le società di produzione, sfruttando l'opzione offerta dagli Stati, superano uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo del mercato SAF. La configurazione di equilibrio che ne deriva presenta quindi una co-specializzazione tra azienda produttrice, che adegua il proprio percorso produttivo alla materia prima offerta, e industria dei feedstock del paese, che si specializza nell'offerta di input per la produzione di SAF.

In questo schema la domanda di materie prime si rivolge alle risorse locali le quali risulteranno specializzate verso la produzione di SAF, ma probabilmente non sufficienti a sostenere tutta la produzione di una determinata società. A questo limite si risponde attraverso una diversificazione geografica che garantisce l'accesso a volumi di feedstock adeguati ma imponendo, al tempo stesso, una diversificazione anche dal punto di vista tecnologico. La varietà nelle soluzioni produttive adottate da un'azienda può essere letta come un limite nell'ottica del raggiungimento della scala ottima ma come un'opportunità dal punto di vista della riduzione del rischio che nel panorama odierno, caratterizzato da incertezza tecnologica e instabilità dei mercati, può essere considerata come una tematica di maggior impatto<sup>194</sup>.

Sicuramente la diversificazione tecnologica complica ulteriormente lo scenario, già particolarmente ostico a causa della dispersione di risorse e competenze necessarie lungo la filiera. La produzione di SAF necessita di un bundle di risorse e competenze particolarmente complesso che difficilmente può essere realizzato in tempi brevi da un'unica impresa. Anche in questo caso una possibile soluzione è offerta dalle reti strategiche che permettono di creare un nucleo produttivo autosufficiente a partire da legami interaziendali. Alla complessità nello sviluppare tutto il necessario in house si risponde attraverso la realizzazione di joint venture, partnership o contratti di lungo termine, che consentono l'integrazione di risorse complementari. Sono molteplici i casi di co-produzione che interessano questo settore.

Negli ecosistemi, di cui stiamo ricostruendo la nascita, è presente un ulteriore tassello. La tecnologia dalle materie prime e l'incentivo degli Stati nell'attrarre società produttive nelle proprie regioni espone l'industria alla necessità di ampliare il ventaglio di percorsi SAF certificati e con essi le

---

<sup>194</sup> Esposti, Roberto. "I biocarburanti tra mercati internazionali, politiche e Wto." *QA Rivista dell'Associazione Rossi-Doria* 2009/4 (2009).

materie prime utilizzabili. In diversi casi i territori offrono feedstock utili alla produzione di SAF ma per i quali i percorsi annessi non sono certificati<sup>195</sup>. Ciò porta ad imbattersi nell'ostacolo, tecnico, economico e burocratico, della certificazione. L'attuale iter per la certificazione impone onerosi processi burocratici ed elevati costi operativi/tecnici riconducibili agli assets necessari per effettuare le fasi di test. Evidenze empiriche mostrano come questi ostacoli possano essere superati attraverso la collaborazione di tre attori: le società produttrici della nuova miscela, le compagnie produttrici di aerei e i governi. I produttori SAF sfruttano il supporto tecnico delle compagnie produttrici di aerei e il supporto burocratico dei governi per efficientare la fase di certificazione e cogliere ulteriori possibilità offerte dall'ecosistema generato dall'integrazione dei diversi sistemi di incentivi.

### **Fotografia dell'ecosistema**

Una complessa rete di legami interaziendali, che coinvolge sia soggetti pubblici che privati, sembra essere capace di risolvere tutte le frizioni di mercato che interessano lo sviluppo della filiera SAF; proviamo adesso a riassumerne il meccanismo.

I mandati SAF e i diversi sistemi di incentivi messi in piedi da enti pubblici risolvono il possibile blocco della domanda. Le compagnie aeree, spinte dai sistemi di incentivi suddetti, scendono in prima linea per superare lo stallo produttivo del mercato SAF. La formula che risulta risolutiva è quella degli accordi offtake. Tali accordi permettono una netta riduzione del rischio di investimento, garantendo la vendita della produzione futura. La riduzione del rischio sblocca gli investimenti e facilita la raccolta di capitali. I capitali divenuti disponibili con questa manovra rappresentano un'opportunità di sviluppo per quei paesi che dispongono potenzialmente di input produttivi per l'industria SAF. I governi, per attirare i produttori SAF, realizzano un incentivante sistema normativo e garantiscono la fornitura di materie prime e input. La co-specializzazione tra territorio, che si impegna ad offrire gli input necessari, e società produttive, che adeguano la propria produzione alle risorse disponibili, permette la risoluzione della maggiore frizione per la produzione SAF, ovvero la dipendenza dai mercati a monte oltre ad attenuare ulteriormente il rischio dell'investimento sbloccando ulteriori investimenti e riducendo il costo del capitale. I produttori, ora nelle condizioni di poter avviare l'attività, possono sopperire alla complessità tecnologica attraverso legami interaziendali.

---

<sup>195</sup> <https://www.commerce.wa.gov/news/twelve-announces-plans-to-scale-production-of-sustainable-aviation-fuel-made-from-co2-in-washington-state/>

Ultima pedina di tale ecosistema, che permette la chiusura del cerchio, sono gli aeroporti che vanno ad annullare le possibili frizioni che potrebbero interessare la distribuzione.

L'ecosistema risultante è quindi costituito da:

- Fornitore materie prime;
- Produttore di SAF;
- Aeroporto;
- Compagnia aerea.

La solidità di tale ecosistema si fonda su:

- Co-specializzazione industria fornitrice e industria produttrice;
- Specificità dell'investimento da un punto di vista geografico;
- Accordo offtake tra compagnia aerea e società produttrice.

L'essenziale dell'adozione di tale schema passa per la necessità di ampliare i percorsi adottabili. Ciò può essere realizzato attraverso l'integrazione nel sistema descritto di un ulteriore processo: quello della certificazione. Le frizioni di tale processo possono essere superate, come detto in precedenza, attraverso la collaborazione degli attori di questa filiera.

### **Evidenze empiriche della diffusione dello schema proposto**

Gli Stati Uniti, ed in particolare la regione di Washington<sup>196</sup>, si propongono come principali promotori dei mercati SAF. Il governatore di tale Stato si è impegnato a creare un contesto favorevole allo sviluppo dell'industria SAF attraverso un approccio normativo altamente incentivante. Gli strumenti normativi adottati prevedono i crediti di imposta introdotti con l'inflation reduction act<sup>197</sup>, la semplificazione del processo di certificazione e l'avvio del programma Aviation fuel grand challenge. L'assetto normativo creato genera un contesto altamente favorevole allo sviluppo di industrie produttrici di SAF, al quale va sommato la disponibilità di materie prime e la disponibilità dei segmenti a monte di supportare lo sviluppo di tale indotto.

La formula con la quale l'industria SAF sta cogliendo le opportunità offerte dal territorio americano è proprio l'ecosistema precedentemente descritto. Ne è un esempio la joint venture che prende il nome

---

<sup>196</sup><https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/new-800m-sustainable-aviation-fuel-plant-planned-for-washington-state/>

<sup>197</sup> The White House; Building a clean energy economy: a guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action; january 2023, version 2

di Blue Blade<sup>198</sup> alla quale partecipano United airlines, una delle maggiori compagnie aeree statunitensi, Tallgrass, società di ricerca e sviluppo e Green plains, azienda produttrice di etanolo. Queste tre imprese sono riunite per cooperare nel iter di certificazione di un nuovo processo SAF AtJ finalizzato alla futura realizzazione di un impianto produttivo che utilizzi questa tecnologia. La collaborazione viene innescata dall' accordo offtake con cui United airlines si impegna ad acquistare la futura capacità produttiva dell'impianto attualmente in fase di progettazione. Da tale accordo scaturisce poi la nascita dell'ecosistema che ingloba la Società Green plains produttrice di etanolo la quale si rende disponibile ad un processo di co-specializzazione con l'impresa Tallgrass che sarà la futura produttrice. La presenza di Green Plains fa sì che il rischio legato al potere di mercato delle società a monte possa essere superato garantendo una futura sostenibilità del business. Ulteriori meccanismi collaborativi che caratterizzano tale ecosistema sono quelli che interessano il processo di certificazione per il quale cooperano tutte e tre le società sostenendo congiuntamente i costi e le sinergie tecnologiche tra Green plains e Tallgrass che collaborando accedono a diverse risorse complementari in modo da affrontare con successo la complessità tecnologica che caratterizza il settore. Come detto in precedenza un attore fondamentale nello sviluppo degli ecosistemi produttivi SAF è il governo il quale attraverso l'adozione di diverse politiche fornisce incentivi ai produttori, i quali riverberano nella facilitazione della raccolta dei capitali, e sostiene la filiera a partire dalle fasi a monte. Il governo americano indirizza, infatti, l'agricoltura del paese a sostegno del settore SAF riducendo gli ostacoli che interessano le fasi iniziali della filiera.

Altro esempio di rete industriale sviluppatasi in America è quella che interessa l'azienda tecnologica Honeywell e l'azienda produttrice Hif Global<sup>199</sup>. Anche in questo caso l'integrazione tra know how specifici e forza produttiva garantita dalle due aziende trova collocazione negli Stati Uniti. Ciò è dovuto al supporto normativo garantito dai governi e dalla disponibilità di materie prime offerte dal territorio. Va sottolineato che l'attenzione prestata dal paese alla produzione di SAF genera delle esternalità positive verso lo sviluppo dell'offerta di materie prime, inoltre la crescente densità di imprese impegnate nel produrre SAF nel territorio americano apre le porte alla nascita di un ecosistema nazionale che supera i legami tra le singole imprese.

Evidenze dell'adozione dell'approccio precedentemente descritto non sono presenti esclusivamente negli Stati Uniti. Ad esempio, in Malesia è presente una collaborazione tra la compagnia aerea Malaysia airlines group, l'aeroporto di Kuala Lumpur e la società produttrice Petronas Dagangan

---

<sup>198</sup> <https://www.safinvestor.com/news/142342/united-airlines-tallgrass-and-green-plains-iaunch-new-blue-blade-energy-jv-focused-on-ethanol/>

<sup>199</sup> <https://matthey.com/hif-global-jm-honeywell>

Berhad. Alle basi di questa collaborazione vi è l'acquisto di 230.000 tonnellate di SAF. La partecipazione dell'aeroporto malese consente di superare le possibili frizioni relative all'accesso al carburante sostenibile per la compagnia aerea e garantendo un'ottimizzazione dei costi di distribuzione data la specializzazione geografica.

Diversi paradigmi interessano lo scenario giapponese ed arabo.

In Giappone è stata avviata una collaborazione tra Nippon paper industries<sup>200</sup>, industria produttrice di carta, l'industria chimica Sumatomo e Green earth institute, società specializzata in soluzioni tecnologiche sostenibili. Le tre società hanno avviato uno studio congiunto per la produzione di bioetanolo a partire da biomasse legnose. Questa prima fase della collaborazione consente l'unione di diversi know how per centrare l'innovazione tecnologica che in seguito potrà evolversi in un ecosistema autosufficiente in cui Nippon paper industries fornisce la materia prima facendo leva sul proprio settore di specializzazione e Sumatomo, con l'aiuto di Green earth institute, si occupa della produzione del carburante sostenibile. Va sottolineato come all'interno di questo ecosistema non sia ancora presente una compagnia aerea, ciò può essere dovuto al fatto che ci si trova ancora in una fase di esordio nello sviluppo di questa nuova tecnologia. Tuttavia, le principali compagnie aeree del Giappone stanno aumentando l'acquisto di SAF ciò, seppur non in maniera esplicita, genera una garanzia d'acquisto per l'ecosistema descritto. In questo ragionamento va anche incluso l'aspetto territoriale che caratterizza il Giappone il quale, essendo un'isola, massimizza gli effetti della specializzazione geografica rendendo indiscusso il vantaggio competitivo di un produttore presente nell'isola.

In Arabia Saudita è stato presentato un progetto di produzione di SAF al quale parteciperanno tutti gli attori della filiera, rappresentando un ecosistema completo<sup>201</sup>. Le società coinvolte sono:

- Abu Dhabi waste management: società che si occupa della gestione dei rifiuti solidi urbani, feedstock scelto per la produzione di SAF;
- Abu Dhabi national oil company: Compagnia petrolifera;
- BP: Società petrolifera;
- Masdar: società di energie rinnovabili;

---

<sup>200</sup> <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/nippon-paper-others-look-making-sustainable-aviation-fuel-wood-2023-02-03/>

<sup>201</sup> <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2023-03-queensland-biofuel-refinery-to-turn-agricultural-by-products-into-sustainable>

- Etihad Airways: principale compagnia aerea.

È evidente come l'intera filiera venga integrata all'interno di tale collaborazione che dà vita ad un ecosistema pienamente auto sufficiente. Viene infatti internalizzata la domanda, con la presenza di Etihad Airways, la fornitura di input produttivi, attraverso la presenza di Abu Dhabi waste management e la produzione attraverso lo sforzo integrato di Abu Dhabi national oil company, BP e Masdar che sfrutteranno i vantaggi di coprodurre. In tale scenario notiamo la presenza dello Stato in una forma differente rispetto al caso americano, lo Stato arabo supporta lo sviluppo di tale industria attraverso la presenza attiva nella filiera di società a controllo statale come Abu Dhabi waste management e Abu Dhabi national oil company. Tale configurazione è riconducibile ad un partenariato pubblico privato.

Un ulteriore caso riconducibile a questa configurazione è quello che interessa le società Qantas e Airbus che, congiuntamente al governo del Queensland (AUS)<sup>202</sup>, hanno investito in un impianto produttivo di SAF diretto dalla società Lanzajet. Questo ecosistema vede protagonista il governo della regione australiana nel garantire un'adeguata disponibilità di risorse, anche attraverso sforzi nella ricerca, e la reciproca specializzazione tra Airbus, compagnia produttrice di aeromobili e Lanzajet, società produttrice di carburante sostenibile. Questo meccanismo viene attivato dall'interesse della compagnia aerea Qantas che garantisce l'acquisto del SAF prodotto.

Un'ultima evidenza della diffusione dell'approccio ecosistemico è dato dalla collaborazione sorta in Nuova Zelanda tra Lanza Jet, Lanza Tech, Zenergy e Air New Zealand. In questo sistema le prime due imprese collaborano allo sviluppo della tecnologia, Zenergy ricopre il ruolo di rivenditore e Air New Zealand garantisce la domanda. Anche in tal caso è presente il governo che collabora allo studio di redditività avviato per questo progetto e svolge il ruolo di facilitatore nella catena di approvvigionamento predisponendo sistemi a supporto della filiera.

## **Il caso eni**

Eni è leader italiano ed internazionale nella produzione di biocarburanti con circa 1.1 milioni di tonnellate/anno di capacità installata al 2022 tra gli impianti di Venezia, Gela, Livorno e Taranto, con una capacità produttiva programmata di 1.51 milioni di tonnellate/anno e con l'obiettivo di raggiungere 5 milioni di tonnellate/anno entro il 2030<sup>203</sup>. L'aumento di capacità è progettato su bioraffinerie caratterizzate da una configurazione flessibile allo scopo di massimizzare la produzione

---

<sup>202</sup> <https://www.lanzajet.com/lanzajet-and-lanzatech-selected-by-air-new-zealand-and-new-zealand-government-to-undertake-study-for-domestic-sustainable-aviation-fuel-production-in-new-zealand/>

<sup>203</sup> Eni, Ambrosetti; Zero Carbon Technology Roadmap

di SAF (Sustainable Aviation Fuel) per il trasporto aereo e di HVO (Hydrogenated Vegetable Oil) per il trasporto su strada, ferroviario e marino. Questa flessibilità consentirebbe alla produzione di soddisfare la domanda di energia crescente e in evoluzione dei clienti<sup>204</sup>.

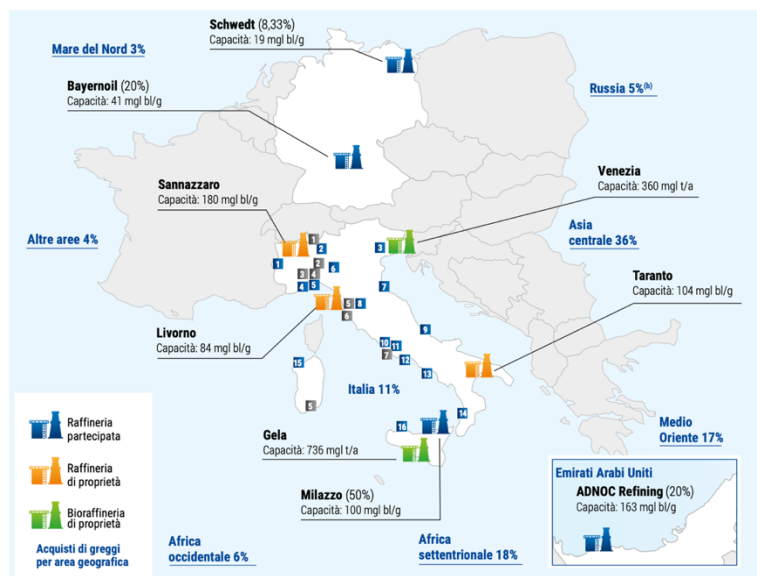


Figura 31- Il sistema di raffinazione e logistica di Eni; Fonte Report Eni 2022

Eni a partire dal 2021 ha avviato la produzione di SAF con l'obiettivo di fornire biofuels capaci di determinare un risparmio atteso di circa 270,000 tonnellate di Co2 l'anno, secondo quanto riportato da ENAC<sup>205</sup>. La leadership di ENI si fonda sul possesso di tecnologie proprietarie, come Ecofining per i biocarburanti ed Eni biojet per i SAF, che pongono l'azienda in una posizione di vantaggio competitivo nei confronti dei competitor e di dominanza nei rapporti con gli altri attori della filiera. Tale condizione consente ad Eni di condurre uno sviluppo organico del portafogli diversificato e bilanciato, integrato da operazioni selettive di acquisizione di assets e progetti di partnership strategiche a livello internazionale.

Proprio la presenza internazionale e i legami profondi che associano quest'azienda ad alcuni paesi, come l'Africa, garantiscono l'accesso a diverse risorse critiche e permettono la razionalizzazione della value creation. L'organizzazione della supply chain fa leva sulla cooperazione, la quale si forgia nelle alleanze per lo sviluppo che interessano diversi paesi e di cui Eni è promotore<sup>206</sup>.

<sup>204</sup> <https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2022/12/eni-euglena-e-petronas-valutano-opportunita-di-una-bioraffineria-in-malesia.html>

<sup>205</sup> <https://www.enac.gov.it/ambiente/impatto-ambientale/le-emissioni-gassose/gli-alternative-fuels>

<sup>206</sup> Vita, Giugno 2022 #06



Eni, come una delle principali aziende energetiche europee, è coinvolta nelle sfide che il sistema energetico mondiale si trova a dover affrontare e alle quali risponde attraverso un modello di business che consente di continuare a generare valore, rispondendo in maniera efficace alle sfide del trilemma energetico (sostenibilità ambientale, sicurezza energetica e accessibilità).

L'approccio adottato da ENI, in risposta all'attuale contesto, mira alla diversificazione geografica e delle fonti e allo sviluppo di nuove tecnologie da integrare alle competenze consolidate possedute, tali obiettivi vengono perseguiti attraverso alleanze per lo sviluppo e innovativi modelli di business e finanziari.

I tre pilastri della strategia adottata sono: l'eccellenza operativa, la neutralità carbonica al 2050 e le alleanze per lo sviluppo<sup>207</sup>. A supporto di questo modello integrato si inseriscono il sistema di Corporate Governance, basato sui principi di trasparenza e integrità, il processo di Risk Management Integrato funzionale per assicurare decisioni consapevoli e strategiche attraverso la valutazione di rischi e opportunità del contesto.



Figura 32- Il modello di business Eni; fonte: Eni for 2022 A just transition

Eni continua il suo impegno al soddisfacimento dei pilastri essenziali del trilemma energetico, attraverso il conseguimento della sostenibilità ambientale unitamente alla sicurezza energetica e

<sup>207</sup> Eni for 2022 A just transition

all'accessibilità. Tali obiettivi fanno leva sulla diversificata presenza geografica e su un diversificato mix delle fonti energetiche, raggiungibile anche attraverso l'integrazione verticale, che unitamente ad un portafoglio di nuove tecnologie e al loro sviluppo fast-track, consentiranno di creare un mix energetico diversificato, proseguendo nella creazione di valore e di opportunità breakthrough, riconoscendo al tempo stesso il ruolo essenziale di partnership e alleanze con gli stakeholder per assicurare un coinvolgimento attivo nella trasformazione del sistema energetico. Il modello agile e innovativo coniuga l'utilizzo di tecnologie proprietarie alla base dei business tradizionali allo sviluppo di un modello satellitare. Il modello satellitare<sup>208</sup> proposto da Eni consiste nella creazione di nuove entità dedicate, in grado di accedere in via autonoma a specifici pool di capitali per finanziarne la crescita ottenendo un pieno riconoscimento dei valori inespressi. I business satelliti di Eni, da Var Energia a Plentitude ed Enilive arrivano a valere quasi 30 miliardi, oltre la metà di quanto capitalizzati il "Cane a sei zampe"<sup>209</sup>. Questo modello è riconducibile alla strategia degli spin-off studiata per far emergere il valore inespresso delle azioni e promuovere nuove tecnologie. Inoltre, trattandosi di business legati alla transizione l'essere entità scorporate abilita i satelliti di Eni ad accedere a diversi strumenti finanziari e incentivi green.

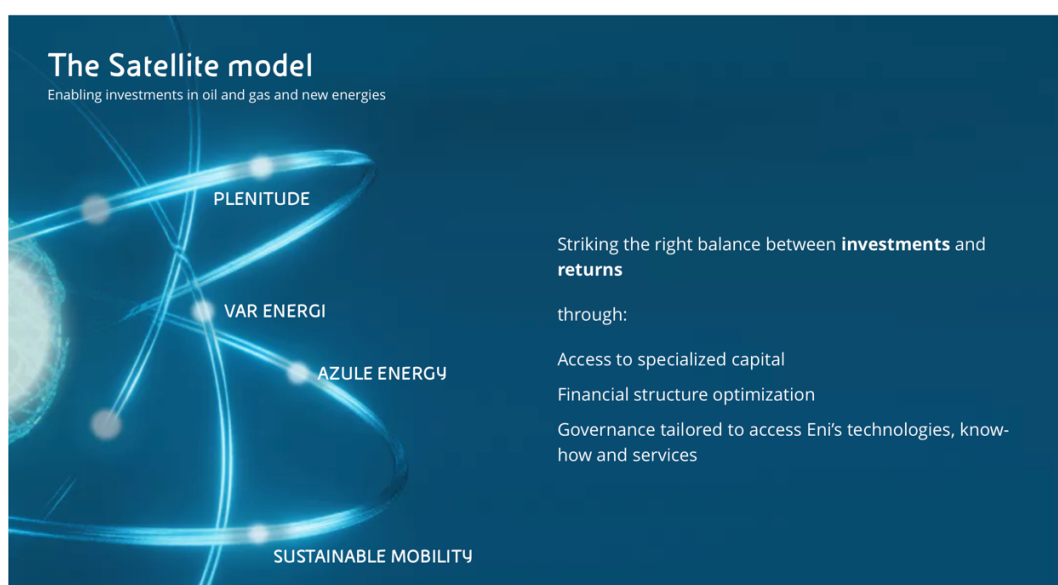


Figura 33- Il modello satellitare di Eni; fonte: sito Eni

Il modello di Business di Eni descritto trova attuazione anche nel mondo dei biocarburanti e dei SAF per i quali ENI risulta all'avanguardia possedendo tecnologie proprietarie come l'ecofining e l'enibiojet. La sliding doors che segna l'evoluzione del modello di business e l'approdo, come first movers, nel mercato dei biocarburanti, riconducibile al 2014, anno in cui Daniele Ferrari, all'ora Amministratore Delegato di Versalis, satellite Eni, annuncia la trasformazione della raffineria di Porto

<sup>208</sup> <https://www.eni.com/en-IT/investors/strategic-plan.html>

<sup>209</sup> L'economia, Corriere della sera, 2/10/2023

Marghera che si evolverà da raffineria in perdita per 100 milioni di euro all'anno a bioraffineria che oggi fa profitti e partecipa ad un mercato in continua espansione, tanto da essere oggetto di futuri investimenti per 200 milioni di euro per arrivare a produrre oltre mezzo milione di tonnellate di biocarburante<sup>210</sup>.

Il mercato dei biocombustibili, e la redditività ad esso associata, presenta come sfide principali la capacità di controllare i costi delle materie prime e quella di garantire un incontro tra domanda e offerta. Tali sfide vengono affrontate a livello strategico attraverso l'integrazione a monte, con l'iniziativa degli agri hub, finalizzata a risolvere la frizione legata ai costi dei feedstock, e con partnership che interessano l'accoppiamento di domanda e offerta. Il ricorso a collaborazioni e partnership strategiche caratterizza l'operato di Eni anche nell'ambito della ricerca e sviluppo e realizzazione di nuove tecnologie.

Il percorso di decarbonizzazione di ENI si fonda, quindi, anche sui biocarburanti avanzati, prodotti da feedstock di scarto o non in competizione con la catena alimentare, quale l'olio di palma le cui forniture sono state interrotte da ottobre 2022, che sfrutteranno in misura crescente l'integrazione con l'agribusiness<sup>211</sup>. Il modello Eni per l'integrazione verticale di queste iniziative, prevede che la fase di produzione agricola sia interamente demandata agli agricoltori locali, mentre Eni realizza e gestisce gli impianti industriali di aggregazione e trasformazione, gli agri- hub<sup>212</sup>, ovvero centri di lavorazione di semi oleaginosi per l'estrazione di olio vegetale. A luglio 2022 è stato avviato in Kenya il primo di tali progetti e sempre di più l'Africa diverrà parte di una filiera integrata verticalmente con la bioraffinazione per la fornitura di un biolio a partire da materie prime prodotte in terreni degradati, con importanti, positive ricadute sull'occupazione e sullo sviluppo locale. Nello stesso anno è stato consegnato agli impianti Eni il primo carico di tale olio, il cui risparmio emissivo è superiore agli standard europei previsti dalla Direttiva Rinnovabili. Eni sta lavorando per esportare tale modello in altri Paesi del continente africano, in Congo, Mozambico, Angola, Costa d'Avorio, Benin, Ruanda e poi in Kazakhstan, dove sono in corso studi di fattibilità, nonché in Italia in collaborazione con Bonifiche Ferraresi<sup>213</sup>.

La frizione legata all'instabilità del mercato a monte viene superata, come dimostrato, intervenendo direttamente sulla catena del valore attraverso l'integrazione di parte della filiera a monte. Le caratteristiche del mercato dei feedstock hanno guidato Eni nella scelta di make or buy, accettando l'aumento della complessità gestoria a fronte di un azzeramento dei costi di transazione e

---

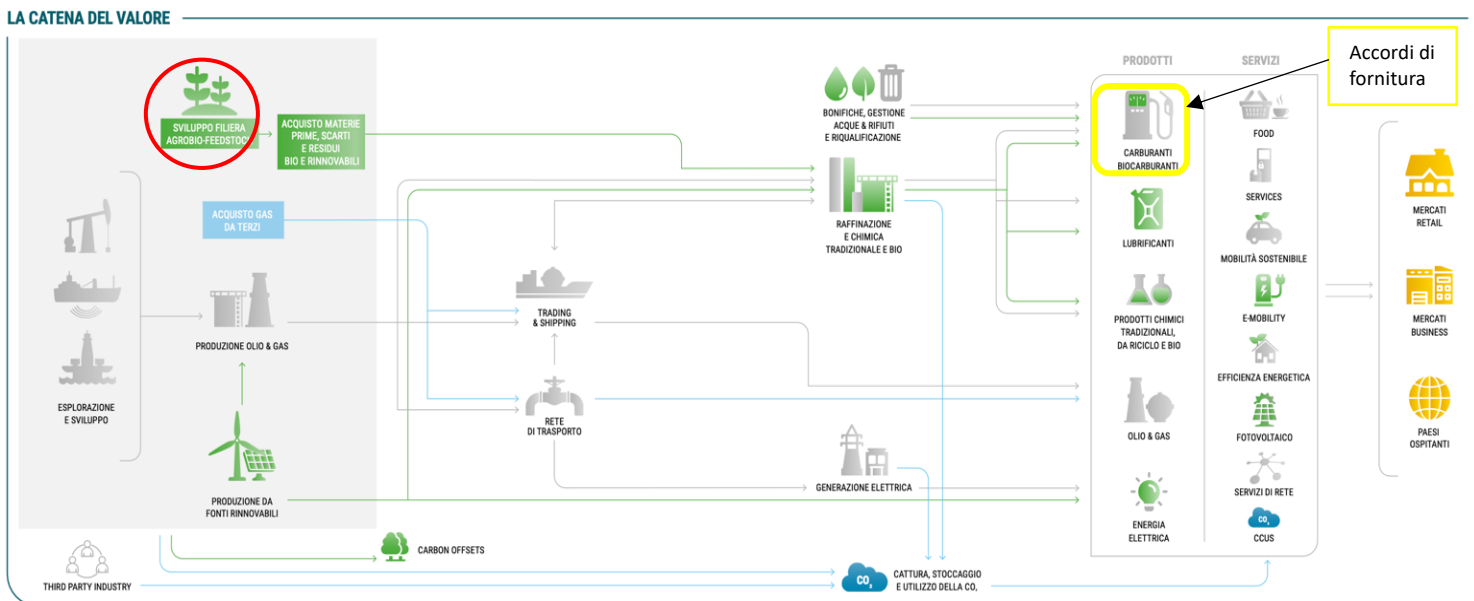
<sup>210</sup>[https://nordesteconomia.gelocal.it/impres/2023/09/15/news/biocarburanti\\_cosi\\_eni\\_esporta\\_il\\_modello\\_marghera\\_in\\_orient-13242739/](https://nordesteconomia.gelocal.it/impres/2023/09/15/news/biocarburanti_cosi_eni_esporta_il_modello_marghera_in_orient-13242739/)

<sup>211</sup> ENI fact book 2022

<sup>212</sup> ENI, World energy review 2023

<sup>213</sup> <https://www.eni.com/it-IT/mobilita-sostenibile/biocarburanti-oli-vegetali.html>

l'indipendenza dalle fluttuazioni dei prezzi dei feedstock che rappresentano una quota importante dei costi di produzione dei biocarburanti. Questa configurazione risolutiva è pienamente in linea con i pilastri del modello di business Eni, presentato in precedenza, si fa fede infatti ai principi di alleanze per lo sviluppo, diversificazione delle fonti e geografica, e integrazione verticale. In questa analisi è necessario sottolineare come questa soluzione è resa percorribile dalla storica presenza di Eni in Africa che concede la possibilità di accedere alle materie prime necessarie che nel territorio italiano



risultano, invece, scarse.

Figura 34- Value chain Eni ed integrazione di attività a monte; Fonte: ENI fact book 2022

La strategia di ENI per quanto riguarda il mercato SAF risulta pienamente in linea con il modello delle reti strategiche, presentato in precedenza, finalizzato a internalizzare i benefici di sinergie industriali. L'azienda produttrice si è resa protagonista di diverse collaborazioni, alcune volte alla ricerca e sviluppo come quella con Honeywell che ha portato alla definizione della tecnologia Ecofining, altre caratterizzanti di piccoli ecosistemi SAF in cui le incertezze e i costi di transazione vengono abbattuti. Ne è un esempio la collaborazione con ITA Airways e Aeroporti di Roma con il quale Eni si è garantita l'accesso alle infrastrutture e la presenza di un acquirente. Schema analogo ha interessato la collaborazione con DHL Express Italy, leader del settore dei corrieri aerei espressi e Gruppo SEA, che gestisce l'aeroporto di Milano Malpensa e Milano Linate<sup>214</sup>.

In questo modello evolutivo del mercato SAF, fondato su dinamiche di collaborazione e di cospecializzazione, risulta fonte di vantaggio competitivo il possesso di tecnologie proprietarie, come nel caso di Eni. Il possesso di tali know-how abilita l'opportunità di diversificazione geografica ed

<sup>214</sup> <https://www.eni.com/it-IT/attivita/carburanti-alternativi-aviazione.html>

espansione verso altri mercati. A dimostrazione di ciò vi è il progetto che Eni insieme con la società giapponese Euglena dedicata alle biotecnologie e alla società petrolifera statale malaysiana Petronas (Petroliam Nasional Berhad) stanno valutando. L'oggetto è quello di sviluppare e gestire una bioraffineria in una delle più grandi aree petrolchimiche del Sud-est asiatico, il Pengerang Integrated Complex (Pic)<sup>215</sup>.

### **Il valore della sostenibilità**

La centralità che ha assunto la sostenibilità nella mission di Eni rende l'azienda un punto di riferimento nello scenario della transizione energetica che si sta affrontando, attraendo anche l'interesse di enti pubblici. La sfida della sostenibilità è promossa, in prima linea, dalle figure governative nazionali ed europee le quali cercano di raggiungere la massima efficacia attraverso il coinvolgimento di aziende leader nel settore.

In particolare, il Governo italiano, nel Febbraio 2023, ha elaborato una proposta di revisione del PNRR<sup>216</sup>, con l'introduzione del nuovo capitolo REPowerEU, per la quale Eni, insieme ad altre partecipate, è stata invitata a prendere parte alla riunione della Cabina di Regia del PNRR per fornire il proprio contributo in termini di proposte progettuali concrete e di realizzazione nei tempi previsti dal Piano. In questa occasione Eni ha confermato la propria volontà di contribuire fattivamente alla realizzazione delle nuove progettualità del PNRR revisionato e del nuovo Capitolo, mettendo a disposizione le proprie capacità di sviluppo di progetti, anche di dimensioni rilevanti fornendo un significativo contributo alla decarbonizzazione e tutela della competitività del Paese.

Nell'ambito dell'attuale Piano, Eni ha già partecipato alle procedure competitive previste da diversi bandi, risultando, in alcuni di questi, assegnataria di parte dei fondi disponibili. Ad oggi, prima del capitolo REPowerEU, sono circa 55 mln € le risorse PNRR complessivamente assegnate a Eni.

Inoltre, nell'ambito del bando IPCEI Idrogeno 2 (H2 Industry - Attività di ricerca, sviluppo e innovazione), strumento agevolativo che supporta le attività svolte dai soggetti italiani coinvolti nella realizzazione degli Importanti Progetti di Comune Interesse Europeo, finanziato anche con risorse del PNRR, sono stati selezionati i progetti Eni (in JV paritetica con Enel) per la produzione di

---

<sup>215</sup>[https://www.ansa.it/canale\\_ambiente/notizie/energia/2022/12/14/eni-con-euglena-e-petronas-valuta-bioraffineria-in-malesia\\_9987a5a0-55c5-4930-89b9-bfe080a6d7c1.html](https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/energia/2022/12/14/eni-con-euglena-e-petronas-valuta-bioraffineria-in-malesia_9987a5a0-55c5-4930-89b9-bfe080a6d7c1.html)

<sup>216</sup> Senato, Commissioni riunite Politiche dell'Unione europea e Bilancio, Affare assegnato Senato su Relazione sullo stato di attuazione del PNRR – (Doc. XIII, n. 1) (n. 182); Memoria Eni

idrogeno verde via elettrolisi per la fornitura di una quota del fabbisogno della Raffineria di Taranto e della bioraffineria di Gela.

Queste recenti evidenze sono riportate per sottolineare la natura duplice di tali collaborazioni pubblico-privato nelle quali lo Stato traccia il cammino definendo le esigenze sociali, e genera misure volte alla trasposizione di tali esigenze nel business traducendole in opportunità economiche e il privato massimizza i propri sforzi nella direzione indicata per offrire gli strumenti necessari alla transizione che consentano l'internalizzazione dei benefici.

La sostenibilità, anche a valle dell'impegno delle istituzioni politiche, diventa sempre più un fattore integrato nelle logiche di business materializzandosi come elemento di value creation. Ad esempio, la sostenibilità è entrata a far parte nelle operazioni di raccolta di capitale di Eni. Con l'adozione nel 2020 del "Sustainability Linked Financing Framework", la Società si è fissata l'obiettivo di arrivare a coprire con strumenti finanziari indicizzati a obiettivi di sostenibilità il 25% del debito lordo totale entro il 2025. In tale ambito, a febbraio 2023 la Società ha concluso con successo il collocamento presso il pubblico retail italiano di un bond indicizzato a due degli obiettivi del framework sostenibile Eni, dell'ammontare di €2 miliardi con richieste pari a cinque volte l'offerta<sup>217</sup>.

### **Capitolo 3: quadro normativo**

#### **Europa**

Circa il 15% dei movimenti aerei del mondo ha avuto luogo all'interno dell'Unione Europea (UE) nel 2019. L'UE è uno dei centri aerospaziali più significativi al mondo, essendo la sede dei principali produttori di aeromobili e motori, nonché di università e centri di ricerca. Inoltre, i regolamenti e le direttive dell'UE hanno un impatto sui regolamenti di tutti i suoi membri, in quanto sono applicabili direttamente a livello statale e spesso devono essere recepite nel diritto nazionale. Gli sviluppi a livello legislativo dell'UE sono anche attentamente osservati da altre parti del mondo e spesso aprono la strada in settori come la protezione dell'ambiente.

I regolamenti chiave che influenzano il percorso di decarbonizzazione dell'aviazione nella rete europea nella fase attuale sono quelli presi in considerazione all'interno del pacchetto normativo Fit for 55, che è incorporato nel Green Deal generale dell'UE. Il Green Deal evidenzia la necessità che l'aviazione, insieme al trasporto stradale, ferroviario e via acqua, riduca congiuntamente le emissioni nel settore dei trasporti del 90% entro il 2050, al fine di raggiungere la neutralità climatica. Il programma Fit for 55 si riferisce all'obiettivo intermedio dell'UE di ridurre le emissioni nette di gas

---

<sup>217</sup> Eni; Dichiarazione consolidata di carattere Non Finanziario 2022

a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Il pacchetto proposto mira ad allineare la legislazione dell'UE con l'obiettivo 2030 sulla strada verso lo zero netto nel 2050. Le iniziative chiave del pacchetto che riguarda l'aviazione sono la riforma del sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (EU ETS), la revisione della direttiva sulla tassazione dell'energia (ETD) e il regolamento RefuelEU. Molte altre iniziative normative, come il regolamento sulle infrastrutture dei combustibili alternativi (AFIR – anche all'interno di Fit for 55), la direttiva sulle energie rinnovabili (RED III) che prevede il moltiplicatore (x1.2), REPowerEU e Count Emissions EU, hanno anche punti di contatto con l'aviazione e possono potenzialmente avere un impatto sulla tabella di marcia di decarbonizzazione del settore<sup>218</sup>.

## EU ETS

L'ETS<sup>219</sup> è la pietra angolare della politica dell'UE per combattere il cambiamento climatico e il suo strumento chiave per ridurre le emissioni di gas a effetto serra in modo efficace sotto il profilo dei costi. Attualmente è il più grande mercato mondiale del carbonio. Questo sistema si completa di un tetto totale per le emissioni in ogni settore, garantendo il duplice obiettivo di un *cap and trade system*: da un lato si limitano le emissioni totali sul territorio europeo a un tetto massimo, decrescente nel tempo, e dall'altro si incorpora il costo sociale dell'emissione all'interno dei bilanci aziendali, utilizzando un sistema di mercato e quindi meno distorsivo rispetto ad altri meccanismi come tassazioni o sussidi diretti. Infatti, il limite massimo di emissioni ammesse decresce ogni anno e, allo stesso modo, decresce la percentuale di quote assegnate gratuitamente in rapporto a quelle messe all'asta.

Inizialmente l'ETS copriva solo l'industria energetica e l'industria pesante. Dal 2012 anche il trasporto aereo rientra nell'EU-ETS ed è ancora l'unica modalità di trasporto incluso nel sistema. Originariamente era stato concepito per coprire le emissioni di tutti i voli da, verso e all'interno del SEE145 (campo di applicazione completo). Nel 2013, il campo di applicazione è stato ridotto ai voli intra-SEE attraverso la decisione "stop-the-clock" dopo la forte opposizione di vari paesi al di fuori dell'UE. Con la decisione "stop-the-clock" l'UE ha consentito anche alla Aviation Organization (ICAO) per sviluppare una misura globale (CORSIA, vedi sotto)<sup>220</sup>. Le compagnie aeree attive nello Spazio economico europeo (SEE) devono monitorare, comunicare e verificare le proprie emissioni e restituire le quote per tali emissioni. Il campo di applicazione ridotto rimarrà in vigore

---

<sup>218</sup> IATA: "Policy Net Zero Roadmap"

<sup>219</sup> Kang, Yicheng, et al. "Synthetic control methods for policy analysis: Evaluating the effect of the European Emission Trading System on aviation supply." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 162 (2022): 236-252.

<sup>220</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

fino alla fine del 2023, dopodiché tornerà al suo campo di applicazione completo a meno che non vi sia una revisione alla luce del CORSIA.

L'EU ETS, come detto, si basa sul principio "cap and trade", il che significa che viene posto un limite massimo alle emissioni di gas serra di alcuni settori coperti da questo sistema. Questo limite sta gradualmente venendo ridotto nel corso degli anni, in modo che il numero totale di gas serra emessi nell'atmosfera sia lentamente diminuito. Ogni anno le aziende devono restituire tante quote quante ne hanno emesse annualmente, altrimenti saranno soggetti a pesanti multe. Le quote di emissione sono date gratuitamente o vendute all'asta alle aziende, che possono essere successivamente scambiati tra loro se necessario. L'EU ETS fornisce incentivi economici alle compagnie aeree se viene utilizzato SAF per i loro voli, consentendo loro di qualificarsi come "emissioni zero"<sup>221</sup>. Più specificamente, le compagnie aeree non devono restituire alcuna quota di emissione per CO<sub>2</sub> quando vengono utilizzati i SAF per sostituire il carburante per aerei convenzionale. Questa pratica potrebbe potenzialmente aumentare l'assorbimento di SAF nei voli se il profitto derivante dall'acquisto di meno quote o dalla vendita di quelle extra, eguaglia o addirittura supera il costo aggiuntivo dei SAF<sup>222</sup>.

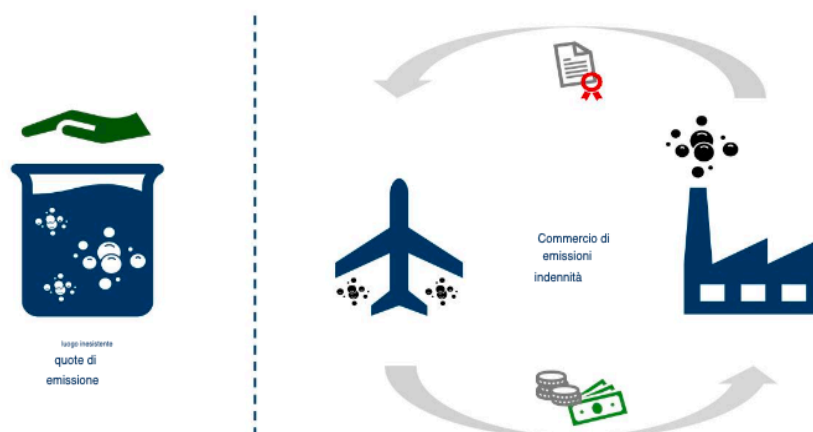


Figura 35-Rappresentazione sistema cap and trade; Fonte: Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

All'interno del sistema EU-ETS esistono due tipi di quote di emissione. Indennità generali (EUA) e quote aeronautiche (EUAA). Gli impianti fissi (industria energetica e pesante) devono coprire le proprie emissioni mediante quote generali. Le compagnie aeree possono utilizzare sia le indennità generali che quelle aeronautiche per la conformità. Nel periodo di scambio (2021-2030) fissato gli impianti sono inoltre autorizzati a utilizzare le quote aeronautiche. Nel periodo di scambio (2013-

<sup>221</sup>Yicheng Kang, Sha Liao, Changmin Jiang, Tiziana D'Alfonso; Synthetic control methods for policy analysis: Evaluating the effect of the European Emission Trading System on aviation supply

<sup>222</sup>Detsios, N.; Theodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, N.G. Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies* **2023**, *16*, 1904. <https://doi.org/10.3390/en16041904>



2020) gli operatori sono stati inoltre autorizzati a utilizzare i crediti di compensazione internazionali del Clean Development Mechanism (CDM). Secondo le disposizioni della direttiva EU ETS rivista, i crediti internazionali non possono più essere utilizzati per il prossimo periodo di scambio (2021-2030) in quanto l'UE ha un obiettivo di riduzione delle emissioni interne.

## **Cap**

Il numero di quote disponibili è limitato e viene ridotto<sup>223</sup> ogni anno per garantire il raggiungimento degli obiettivi climatici dell'UE. Nel periodo di scambio che va dal 2013 al 2020 il numero di quote generiche rilasciate è stato ridotto di un fattore di riduzione lineare pari all'1,74% annuo (della quantità media di quote nel periodo 2008-2012). Ciò dovrebbe tradursi in una riduzione delle emissioni del 5% entro la fine del periodo di scambio, rispetto alle emissioni medie nel periodo 2004-2006. Il numero di quote di aviazione non viene ridotto nel periodo di scambio in corso.

Il numero di quote messe in circolazione è diminuito in media di 37 milioni o dell'1,8% all'anno dal 2013. Sebbene le emissioni di CO<sub>2</sub> del trasporto aereo siano aumentate, le emissioni totali di CO<sub>2</sub> di tutti i settori inclusi nell'EU ETS sono diminuite di 43 Mt CO<sub>2</sub> e nello stesso periodo (in media del 2,3% all'anno). Ciò dimostra che l'EU-ETS porta a reali riduzioni delle emissioni, in primo luogo nei settori in cui i costi di abbattimento sono più bassi.

Come accennato in precedenza, un sistema cap-and-trade funziona solo quando la conformità è elevata. Nel sistema EU ETS il 99 % delle emissioni è coperto da quote. Per il settore dell'aviazione il tasso di conformità è stato del 98%. In passato varie compagnie aeree hanno pagato multe per oltre 1 milione di euro ciascuna per il mancato rispetto dell'EU-ETS. Queste compagnie aeree hanno successivamente aderito al sistema.

Nel periodo di scambio 2021-2030 sia il massimale generale che il massimale per l'aviazione sono stati ridotti del 2,2% all'anno per raggiungere l'obiettivo specifico di riduzione ETS del 43% (rispetto ai livelli del 2005) entro il 2030. Il Green Deal europeo prevede obiettivi più ambiziosi e recentemente la Commissione europea li ha chiariti proponendo un obiettivo di riduzione delle emissioni del 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. Ciò può portare a un obiettivo di riduzione più forte per i settori coperti dall'EU-ETS e quindi a un fattore di riduzione lineare più ampio. Per il 2050 il Green Deal punta allo zero netto.

## **Trade**

---

<sup>223</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

Sebbene le emissioni totali di CO2 nell'ambito dell'EU ETS siano diminuite in media del 2,3% all'anno dal 2013, le emissioni del trasporto aereo all'interno del SEE sono aumentate del 4,5% all'anno. Ciò indica che il settore dell'aviazione è un acquirente netto di quote di emissione. Il settore energetico è il principale venditore di quote di emissione. Per i produttori di energia è attualmente più conveniente ridurre le proprie emissioni e vendere quote abbondanti ad altri settori in cui i costi di abbattimento sono più elevati. Acquistando quote dal settore energetico, il settore dell'aviazione contribuisce alla decarbonizzazione del settore energetico. Ciò dimostra che il denaro fluisce verso quei progetti di investimento che riducono le emissioni nel modo più conveniente.

Table 13-Emissioni verificate; Fonte: Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Variazione annua
Installazioni fisse	1908	1814	1803	1751	1754	1681	-2.5%
Aviazione	54	55	57	62	64	67	4.5%
TOT	1962	1869	1860	1813	1818	1748	-2.3%

Nel 2017, il 41% delle emissioni del trasporto aereo all'interno del SEE era coperto da EUA acquistati da altri settori. Il resto delle emissioni del trasporto aereo è coperto dalle quote di trasporto aereo (EUAA). La maggior parte degli EUAA, l'82%, è stata assegnata gratuitamente alle compagnie aeree nel periodo 2013-2017. L'assegnazione gratuita è stata introdotta per limitare il rischio di distorsioni del mercato e carbon leakage. Questo rischio è più elevato per i settori esposti alla concorrenza internazionale. Pertanto, il settore dell'aviazione ottiene gratuitamente una quota relativamente ampia delle sue quote.

Il sistema di assegnazione gratuita rimane in vigore fino al 2030. Il resto degli EUAA, il 18%, è stato messo all'asta o riservato a compagnie aeree in rapida crescita e nuovi entranti<sup>224</sup>.

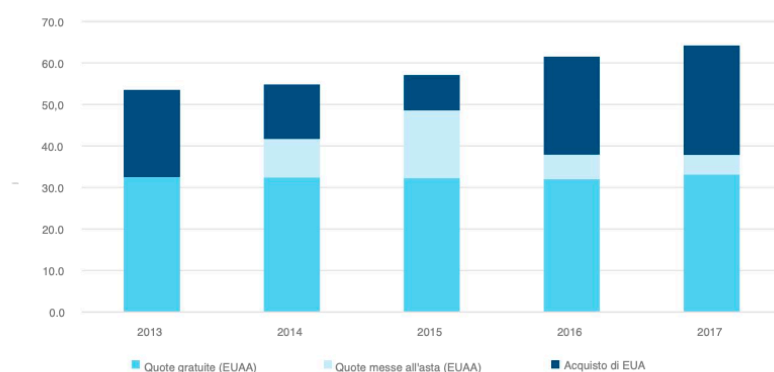


Figura 36-Emissioni del trasporto aereo coperte da EUAA e EUA; Fonte: Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

<sup>224</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

I proventi delle aste vanno agli Stati membri. Gli Stati membri riferiscono di spendere l'80% dei proventi delle aste per scopi climatici ed energetici. La maggior parte delle entrate va a fini nazionali e dell'UE, mentre una quota minore va a fini internazionali. I dati sulla spesa delle entrate sono forniti dai singoli Stati membri. Non è chiaro in che misura le spese siano aggiuntive e in che misura portino a effettive riduzioni di CO<sub>2</sub>.

Gli Stati membri possono risarcire i produttori per una parte dei costi sostenuti fino a un massimo del 25% dei proventi della vendita all'asta. L'importo dell'indennizzo corrisposto è parziale e regressivo e soggetto alle linee guida sugli aiuti di Stato. Nel 2018 i produttori potevano essere compensati per l'80% dei loro costi, percentuale ridotta al 75% nel 2019. Nel 2017, un totale di 694 milioni di euro è stato pagato a titolo di risarcimento da dieci Stati membri.

Diversi meccanismi di finanziamento sono collegati all'EU ETS per stimolare gli investimenti nelle tecnologie a basse emissioni di carbonio:

- **Fondo per l'innovazione:** il fondo per l'innovazione sostiene lo sviluppo di tecnologie innovative e innovazioni pionieristiche nei settori coperti dall'EU ETS. Il fondo è stato istituito dalla direttiva ETS riveduta. L'importo del finanziamento disponibile corrisponde al valore di mercato di almeno 450 milioni di quote. A seconda del prezzo dell'indennità, il fondo può ammontare a 10 miliardi di euro. Il fondo sarà integrato da qualsiasi budget inutilizzato della Riserva per i nuovi entranti (NER) 300 e fino a 50 milioni di quote quando queste non sono necessarie per l'assegnazione gratuita<sup>225</sup>;
- **Fondo per la modernizzazione:** il fondo per la modernizzazione sostiene gli investimenti a basse emissioni di carbonio nei sistemi energetici di 10 Stati membri a basso reddito. Il fondo sarà rifornito con quote corrispondenti al 2 per cento della quantità totale nella fase 4. Ad un prezzo del carbonio di € 20 tCO<sub>2</sub>, saranno disponibili circa € 14 miliardi nei prossimi decenni.

## CORSIA

Il Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) è uno schema di compensazione. Questa misura globale basata sul mercato è stata concordata all'assemblea dell'ICAO del 2016 per affrontare le emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti da emissioni internazionali dell'aviazione.

CORSIA mira a stabilizzare le emissioni nette di CO<sub>2</sub> dei voli internazionali a partire dal 2020. CORSIA richiede alle compagnie aeree di compensare eventuali emissioni superiori alla soglia del 2019 acquistando crediti di carbonio generati da progetti che riducono le emissioni in altri settori. Ciò dovrebbe garantire il raggiungimento dell'obiettivo dell'ICAO di una crescita a emissioni zero dal

---

<sup>225</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

2020 in poi. CORSIA si basa su un sistema di tipo *market based measurement*, per realizzare l'offsetting delle emissioni climalteranti: un operatore che partecipa al programma può acquistare crediti di compensazione per le emissioni sul mercato o realizzare iniziative indirette per compensare le proprie emissioni. Il programma CORSIA permette ai partecipanti di soddisfare i requisiti di sostenibilità attraverso l'impiego dei CORSIA Eligible Fuels (CEF), tra i quali si trovano anche i SAF, come alternativa diretta alla compravendita degli offsets.

I crediti internazionali di carbonio sono strumenti finanziari che rappresentano una tonnellata di CO<sub>2</sub> ridotta o rimossa dall'atmosfera a seguito di un progetto di riduzione delle emissioni. I crediti sono generati da progetti di riduzione delle emissioni e sono disponibili attraverso vari programmi di compensazione. Il Protocollo di Kyoto ha gettato le basi per due di questi programmi, il Clean Development Mechanism (CDM) e il Joint Implementation (JI) nel 1997. I programmi più utilizzati oggi sono il Verified Carbon Standard (VCS) e il Gold Standard.

Nell'ottobre 2020, 88 Stati (compresi tutti gli Stati membri dell'UE) che rappresentano il 77% dell'attività di aviazione internazionale hanno chiesto di partecipare volontariamente alla fase pilota (2021-2023) e alla prima fase (2024-2046) di CORSIA. La seconda fase (2027-2035) è obbligatoria, sebbene esistano esenzioni per gli stati con una piccola industria aeronautica, i paesi meno sviluppati (LDC), i piccoli Stati insulari in via di sviluppo (SIDS) e i paesi in via di sviluppo senza sbocco sul mare (LLDC). Questi Stati possono tuttavia ancora partecipare su base volontaria. L'attuazione del regime è in corso e non è ancora completa. Permangono incertezze per quanto riguarda la sua politica di copertura, solidità e conformità. Alcuni paesi con una grande industria aeronautica potrebbero non partecipare o ritardare l'attuazione del CORSIA nella legislazione nazionale<sup>226</sup>.

Di seguito viene riportata una tabella di sintesi delle principali differenze tra il sistema Eu ETS e quello CORSIA:

Table 14-Differenze EU-ETS e CORSIA; Fonte: Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

	<b>EU-ETS</b>	<b>CORSIA</b>
<b>SCHEMA</b>	Cap and trade	Compensazione
	Limita il livello delle emissioni. Gli operatori riducono le proprie emissioni o acquistano quote UE sul mercato.	Gli operatori acquistano crediti di carbonio internazionali per compensare le loro emissioni superiori ai livelli del 2020. Le condizioni si applicano ai programmi di compensazione.
<b>APPLICABILITA'</b>	Ritorna a pieno campo nel '24 salvo revisione alla luce del CORSIA	'21-'26 (volontario), '27-'35 (obbligatorio)
<b>OBIETTIVO</b>	2020: -5% rispetto al '04-'06 2030: -43% rispetto al '05	Crescita carbon neutral dal 2020 (CNG2020)

<sup>226</sup> Destination2050: una rotta verso l'aviazione europea a zero emissioni (report)

	Dal 2021 al 2030 i cap generale e aviazione sono ridotti del 2,2% ogni anno	Il cap rimane fisso al livello del 2019
<b>CERTEZZA RAGGIUNGIMENTO</b>	Le quote disponibili (cap) corrispondono all'obiettivo, assicurando che l'obiettivo sia raggiunto in piena conformità	Dipende dalla qualità dei crediti di carbonio e dal livello di conformità
	Sistema giuridicamente vincolante, sanzioni in caso di inosservanza	Legalmente vincolante solo se recepita nel diritto nazionale. Incerto su come viene applicata la conformità
<b>COPERTURA</b>	Voli intra-SEE e all'interno delle regioni ultraperiferiche	Voli internazionali tra gli Stati partecipanti
	Inizialmente tutti i voli da e per gli aeroporti del SEE. "Stop the clock decision" ha limitato l'ambito nel 2013 per dare all'ICAO il tempo di sviluppare un MBM globale (CORSA). Ritorna a piena portata nel '24 a meno che non ci sia una revisione alla luce del CORSA	Nel giugno 2019, 80 stati che rappresentano il 76,63% degli RTK, hanno annunciato la loro intenzione di partecipare fin dall'inizio. Le esenzioni si applicano ai voli nazionali, ai paesi meno sviluppati, ai piccoli stati insulari, ai paesi in via di sviluppo senza sbocco sul mare, ai piccoli operatori e agli aeromobili, ai voli con finalità pubblica
<b>SAF</b>	Ai SAF vengono attribuite zero emissioni se corrispondenti Requisiti RED	Obbligo di compensazione ridotto per i "carburanti ammissibili" a seconda delle emissioni del ciclo di vita

## RefuelEU

Come già accennato, anche l'attuale quadro normativo sulle energie rinnovabili come le azioni politiche ETS e CORSIA dell'UE, potrebbero non essere sufficienti per motivare le compagnie aeree ad adottare SAF. Pertanto, la Commissione ha pubblicato l'iniziativa "ReFuelEU Aviation", come parte del pacchetto "Fit for 55", l'obiettivo principale è quello di aumentare sia la domanda che l'offerta di carburanti sostenibili per l'aviazione, che producono emissioni di CO<sub>2</sub> inferiori rispetto al cherosene derivato da combustibili fossili, garantendo allo stesso tempo condizioni di parità in tutto il mercato del trasporto aereo dell'UE.

Il nuovo regolamento dovrebbe, quindi, affrontare la situazione attuale che pregiudica lo sviluppo di tali carburanti, ovvero: scarsa offerta e prezzi molto più elevati rispetto ai prezzi dei combustibili fossili.

Con "ReFuelEU Aviation", sarà la prima volta che l'UE renderà obbligatorio il blending SAF negli aeroporti europei. I fornitori di carburante saranno obbligati a garantire che tutto il carburante per aviazione fornito agli operatori aerei prevede una quota minima di carburanti sostenibili per l'aviazione a partire dal 2025 e una quota minima di carburanti sintetici a partire dal 2030, con un aumento progressivo di tali quote fino al 2050. I fornitori di carburante dovranno incorporare il 2% di carburanti sostenibili per l'aviazione nel 2025, il 6% nel 2030 e il 70% nel 2050. A partire dal 2030, anche l'1,2% dei carburanti deve essere un carburante sintetico, per arrivare al 35% nel 2050<sup>227</sup>.

<sup>227</sup> REGOLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile (RefuelEU Aviation); PE-CONS 29/23

È previsto un periodo transitorio di 5 anni (fino alla fine del 2029) durante il quale, per ogni periodo di riferimento, i fornitori di carburante possono fornire la quota minima di SAF come media di tutto il carburante per aerei fornito agli aeroporti dell'UE<sup>228</sup>.

Si sottolinea che il regolamento proposto riguarderà tutte le operazioni di tutte le compagnie aeree dell'UE, operanti sia nel SEE che a livello internazionale; le reti di compagnie aeree di paesi terzi, tuttavia, saranno interessate solo nella misura in cui comprendono servizi da un aeroporto dell'UE. Tutti gli altri servizi globali delle compagnie aeree non UE non sarebbero influenzati dalla diffusione minima richiesta di carburante per l'aviazione miscelato con SAF. La prevista differenza di prezzo tra il carburante per aerei e SAF potrebbe quindi conferire alle compagnie aeree di paesi terzi un vantaggio concorrenziale. Le compagnie aeree dell'UE non dovrebbero sostenere unilateralmente costi aggiuntivi quando l'intero settore mondiale dell'aviazione lotta per riprendersi dalla sua peggiore crisi del dopoguerra. Inoltre, se la differenza di prezzo viene trasferita ai passeggeri, i voli meno rispettosi dell'ambiente operati da compagnie aeree di paesi terzi diventerebbero più appetibili per i passeggeri dell'UE.

La proposta mira anche a combattere le pratiche di rifornimento di carburante (tankering) e garantire parità di condizioni per il trasporto aereo sostenibile. Il "tankering" si verifica quando gli operatori aerei caricano più carburante del necessario in un determinato aeroporto in cui i prezzi sono bassi, evitando rifornimenti parziali o completi in destinazioni con carburante più costoso. Quantità eccessive di carburante comportano un aumento del consumo di carburante a causa del peso extra a bordo, che a sua volta porta a emissioni aggiuntive. Fatta eccezione per gli effetti dannosi sull'ambiente, il rifornimento di carburante pregiudica la concorrenza leale tra compagnie aeree o aeroporti. Per prevenire queste pratiche e garantire che i mandati SAF non danneggino il mercato dell'aviazione dell'UE a causa dei costi del carburante più elevati previsti, ReFuelEU propone un obbligo chiaro e uniforme per tutte le compagnie aeree (UE e non UE) in partenza dagli aeroporti dell'UE, definito nell'articolo 5 che impone a (tutte) le compagnie aeree di prelevare in un determinato aeroporto dell'UE almeno il 90 % del carburante per aerei annualmente necessario. Tuttavia, gli hub di alcune compagnie aeree esterne alla rete dell'UE sono situati vicino al SEE (ad esempio Londra, Doha, Dubai, Istanbul), e per raggiungerli basta un volo a corto raggio dagli aeroporti del SEE. Le destinazioni a lungo raggio potrebbero quindi essere raggiunte approvvigionandosi di carburante presso l'hub esterno all'UE, senza ricorrere al *tankering*. I costi

---

<sup>228</sup> REGOLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile; Bruxelles, 14.7.2021 COM(2021) 561 final

aggiuntivi connessi al sistema SAF trasferiti al passeggero nel prezzo del biglietto potrebbero incentivare i passeggeri a raggiungere la loro destinazione finale a lungo raggio volando attraverso l'aeroporto di collegamento non UE (meno costoso). Dato che le rotte verso gli hub situati nelle vicinanze dell'UE comportano voli a corto raggio, il rifornimento di carburante per questi voli in uscita dall'UE copre solo una piccola parte delle operazioni internazionali delle compagnie aeree non UE. Pertanto, a medio termine, con l'aumento della quota di carburante miscelato con SAF, la differenza di prezzo tra la miscela con SAF e il carburante per aviazione tradizionale accrescerà l'attrattiva concorrenziale dei voli effettuati attraverso hub extra UE. I passeggeri saranno ancora più incentivati a evitare rotte che comportino il rifornimento con SAF, e questo si rifletterebbe negativamente sull'obiettivo dichiarato della normativa proposta, che consiste nel promuovere l'impiego di SAF, riducendo così le emissioni di CO<sub>2</sub> anche sulle rotte in uscita dall'UE. Ciò evidenzia la necessità di realizzare un quadro normativo internazionale. Poiché sulle rotte internazionali a lungo raggio viene emessa una quota di CO<sub>2</sub> molto maggiore che sulle rotte a medio e corto raggio del SEE, il CESE ritiene che la Commissione debba concentrarsi maggiormente su come coordinare le norme internazionali. Queste misure adottate da terzi, insieme a meccanismi di compensazione già concordati come CORSIA, daranno ulteriore impulso alla produzione, alla diffusione e all'impiego di SAF a livello internazionale, accelerando in tal modo l'aumento della domanda di SAF e riducendo il rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio.

Inoltre, ReFuelEU definisce l'ambito di applicazione dei carburanti sostenibili per l'aviazione e dei carburanti sintetici per l'aviazione ammissibili comprende i biocarburanti certificati, i carburanti rinnovabili di origine non biologica (compreso l'idrogeno rinnovabile) e i carburanti per l'aviazione derivanti da carbonio riciclato che rispettano i criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni della direttiva sulla promozione delle energie rinnovabili, fino a un massimo del 70% ad eccezione dei biocarburanti ottenuti da colture alimentari e foraggere, nonché i carburanti per l'aviazione a basse emissioni di carbonio (compreso l'idrogeno a basse emissioni di carbonio), che possono essere utilizzati per raggiungere le quote minime nella rispettiva parte del regolamento.

Altri temi trattati nell'ultimo aggiornamento della direttiva ReFuelEU Aviation, che troverà applicazione il 1 Gennaio 2024, sono la creazione di un sistema di etichettatura dell'Unione sulle prestazioni ambientali, che aiuterà i consumatori a compiere scelte informate; la raccolta dei dati e obblighi di comunicazione per i fornitori di carburante e gli operatori aerei, che consentono il monitoraggio degli effetti del regolamento in oggetto sulla competitività degli operatori e delle piattaforme dell'UE; e norme relative alle autorità competenti che gli Stati membri devono designare per garantire l'applicazione del regolamento in oggetto e norme relative alle sanzioni pecuniarie.

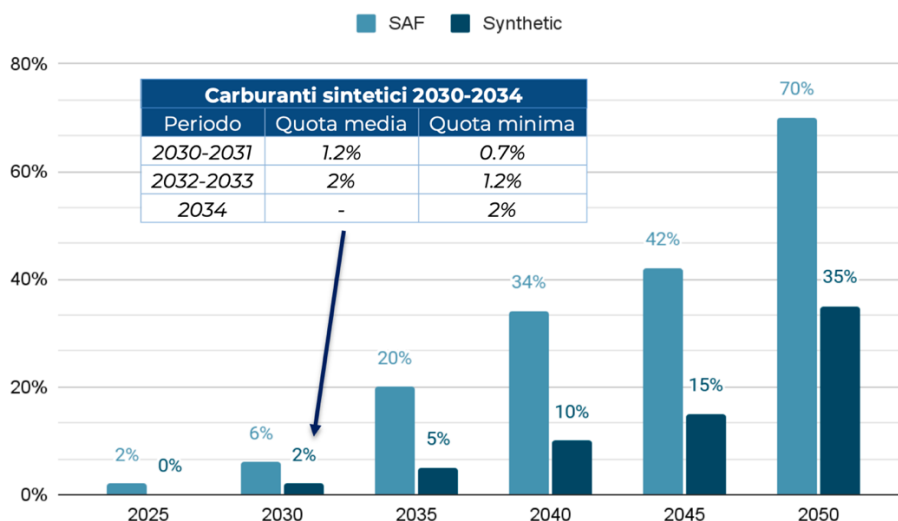


Figura 37-Quote minime di SAF e carburanti sintetici introdotte dalla Refuel EU Aviation; Fonte:IT\_Brochure SAF Roadmap Enac

### RED III

La Renewable Energy Directive è il quadro giuridico per lo sviluppo dell'energia pulita in tutti i settori dell'economia dell'UE, sostenendo la cooperazione tra i paesi dell'UE verso questo obiettivo.

Nell'ambito del Green Deal europeo<sup>229</sup>, le energie rinnovabili sono un pilastro della transizione verso l'energia pulita. Ha un costo molto basso ed è coltivata in casa, il che riduce la dipendenza dell'Europa dai fornitori esterni. Questo è il motivo per cui il livello di ambizione dell'UE di aumentare la quota di energie rinnovabili nel suo mix di energia elettrica e le misure necessarie per raggiungere questo obiettivo sono regolarmente riesaminati.

Data la necessità di accelerare la transizione verso l'energia pulita dell'UE, la direttiva UE/2018/2001 è stata riveduta ed è entrata in vigore nel 2018 ed è giuridicamente vincolante dal giugno 2021 fissando un obiettivo generale europeo in materia di energie rinnovabili del 32 % entro il 2030.

Un nuovo accordo provvisorio per rafforzare la direttiva dell'UE sulla promozione delle energie rinnovabili è stato raggiunto il 30 marzo 2023. Questo accordo avvicina l'UE al completamento della legislazione "Fit for 55%" per realizzare il Green Deal europeo e gli obiettivi di REPowerEU. L'accordo alza l'obiettivo vincolante dell'UE sulle energie rinnovabili per il 2030 a un minimo del 42,5% rispetto al 32% precedentemente fissato, ossia quasi il doppio dell'attuale quota di energie rinnovabili nell'UE. I negoziatori hanno inoltre deciso che l'UE punterà a raggiungere il 45% delle energie rinnovabili entro il 2030.

<sup>229</sup> Commissione europea - Comunicato stampa: "Green Deal europeo: l'UE concorda una legislazione più incisiva per accelerare la diffusione delle energie rinnovabili" Brussels, 30 marzo 2023



L'accordo ribadisce la determinazione dell'UE a conseguire l'indipendenza energetica, attraverso una diffusione più rapida delle rinnovabili prodotte internamente, e a centrare l'obiettivo di ridurre del 55% le emissioni di gas serra entro il 2030. Col tempo, l'espansione e l'accelerazione delle rinnovabili nella produzione di energia elettrica, nell'industria, nell'edilizia e nei trasporti ridurrà i prezzi dell'energia e la dipendenza dell'UE dalle importazioni di combustibili fossili.

Nel quadro della nuova legge le procedure di autorizzazione saranno più semplici e rapide. Le energie rinnovabili saranno riconosciute come interesse pubblico prevalente, fermo restando un elevato livello di protezione dell'ambiente. Nelle zone con un forte potenziale per le rinnovabili e basso rischio ambientale, gli Stati membri istituiranno zone di accelerazione dedicate per le energie rinnovabili, con procedure di autorizzazione particolarmente semplici e rapide. L'accordo provvisorio rafforza la cooperazione transfrontaliera in materia di energie rinnovabili.

L'accordo comprende obiettivi e misure a sostegno della diffusione delle rinnovabili in vari settori dell'economia. L'accordo rafforza il quadro normativo dell'uso delle energie rinnovabili nei trasporti (riduzione del 14,5% dell'intensità delle emissioni di gas serra o quota del 29% di rinnovabili nel consumo finale di energia), con un sotto-obiettivo combinato del 5,5% per i biocarburanti avanzati e i carburanti rinnovabili di origine non biologica e un livello minimo dell'1% per i carburanti rinnovabili di origine non biologica. Tali obiettivi sostengono le ambizioni dell'UE sulla diffusione dell'idrogeno rinnovabile.

### **Book and Claim**

Il testo della legislazione ReFuelEU aviation manca dell'inclusione di un sistema Book & Claim nell'ambito della legislazione. Tuttavia, l'articolo 15 di ReFuelEU<sup>230</sup> sui "meccanismi di flessibilità" stabilisce che "Entro il 1° luglio 2024, la Commissione deve... valutare possibili miglioramenti o misure aggiuntive al meccanismo di flessibilità SAF esistente, come l'istituzione o il riconoscimento di un sistema di negoziabilità SAF. Ciò consentirebbe l'approvvigionamento di carburante all'interno dell'Unione senza richiedere un collegamento fisico a un sito di approvvigionamento. L'obiettivo è semplificare ulteriormente la fornitura e l'utilizzo di Sustainable Aviation Fuel (SAF) per l'aviazione durante il periodo di flessibilità, incorporando elementi di un sistema Book & Claim"<sup>231</sup>.

La domanda dei SAF, anche per effetto delle recenti misure normative, sta crescendo a livello globale non solo dalle compagnie aeree ma anche dal settore aziendale, che sta cercando soluzioni in-sector per decarbonizzare le emissioni legate ai loro viaggi d'affari o al trasporto merci. Nell'aviazione, il

---

<sup>230</sup> Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)

sistema book and claim è una soluzione che consente alle compagnie aeree di acquistare carburanti per l'aviazione sostenibili (SAF) senza essere geograficamente collegati a un sito di fornitura e di trasferire ulteriormente gli attributi di sostenibilità ai loro partner aziendali. Tecnicamente parlando, book and claim è un modello a catena di custodia che consente di "disaccoppiare" attributi specifici, come ad esempio i benefici ambientali, dal prodotto fisico e di trasferirli separatamente tramite un registro dedicato sotto forma di "Book & Claim Unit" (indicato anche come "credito" o "certificato" da altre iniziative). Questo approccio è già stato implementato con successo nel settore dell'elettricità rinnovabile ed è visto come un'opportunità imperdibile per accelerare la decarbonizzazione anche nel settore dell'aviazione e del trasporto marittimo.

Book and claim consente ai fornitori di raggiungere molti più clienti del possibile con catene di approvvigionamento fisiche e di bilancio di massa e, sebbene il cliente non possa tecnicamente volare o spedire le proprie merci su combustibili sostenibili, il loro acquisto dimostra la domanda del mercato e supporta lo sviluppo dell'offerta a livello globale. A loro volta, possono rivendicare i benefici ambientali verso i loro obiettivi volontari di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Un prerequisito per Book and Claim è che i fornitori di carburante forniscano agli operatori aerei una documentazione di sostenibilità completa associata al SAF che hanno procurato o prodotto. Il sistema dovrebbe consentire l'impilamento di attributi ambientali per la conformità a requisiti normativi multipli o sovrapposti in diversi ambiti di emissioni di gas a effetto serra (GHG), comprendendo che sono in vigore le disposizioni necessarie per evitare il doppio conteggio.

I benefici che il sistema Book and Claim potrebbe apportare al mercato SAF sono riconducibili principalmente ad una riduzione dei costi, efficientando la supply chain SAF e rendendola anche più sostenibile, e alla possibilità che offre alle aziende di acquistare qualsiasi volume di SAF, incluso il 100% del fabbisogno di carburante o uno scenario carbon neutral, senza limitazioni tecniche come i limiti di miscelazione. Un'ulteriore possibilità offerta da tale meccanismo prende il nome di Airline-and-dependent and location-independent, tale principio definisce che il sistema Book and Claim consente agli acquirenti (aziendali) di procurarsi SAF in base alla loro impronta totale dell'aviazione in una sola transazione, piuttosto che l'approvvigionamento attraverso ogni compagnia aerea individualmente. Ciò significa che SAF può essere acquistato per voli con compagnie aeree o da aeroporti che non hanno una fornitura SAF disponibile.

D'altro lato il meccanismo book and claim espone i produttori di SAF a nuove dinamiche di concorrenza che potrebbero scoraggiare investimenti locali.<sup>232</sup>

---

<sup>232</sup> BP p.l.c.: "Book and claim - making SAF more accessible for all"; (online)

## EU ETD

L'esecutivo dell'Ue ha recentemente proposto una revisione della Direttiva sulla tassazione dell'energia (ETD) del 2003, le cui aliquote fiscali attuali non tengono conto delle performance ambientali dei prodotti energetici.

Ad esempio, nell'ETD non vi è alcun collegamento tra le aliquote fiscali minime dei combustibili e il loro contenuto energetico o impatto ambientale. Le regole non sono riuscite a tenere il passo con lo sviluppo di combustibili nuovi e alternativi come i biocarburanti e l'idrogeno. Il valore reale delle aliquote minime previste dalla direttiva si è eroso nel tempo, e un complesso mosaico di esenzioni e riduzioni è proliferato in tutta l'Unione sin dalla sua introduzione, portando a una "distorsione nel mercato unico". L'attuale legislazione ha provocato anomalie fiscali in particolare nei paesi del gruppo di Visegrad, dove il biodiesel e il bioetanolo sono tassati rispettivamente più del diesel e della benzina, secondo i dati delle associazioni dei biocarburanti.

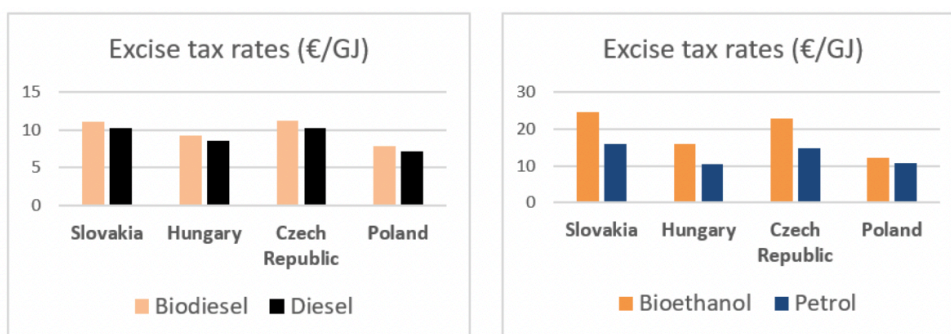


Figura 38-Tasse carburanti Visegrad; Fonte: EURACTIV

In tutti i paesi del gruppo di Visegrad, l'accisa più alta è quella sul bioetanolo. In pratica, ciò significa che l'obiettivo della decarbonizzazione dei trasporti sta svanendo, poiché i combustibili fossili continuano a essere prevalenti a causa della minore tassazione, mentre le energie più pulite vengono messe da parte. Il nuovo sistema dovrà garantire che i combustibili più inquinanti siano tassati di più. Secondo la nuova proposta, l'aliquota minima più bassa di 0,15 €/GJ (Giga Joule) si applicherà, tra l'altro, all'elettricità, ai combustibili a basse emissioni di carbonio, ai combustibili rinnovabili di origine non biologica e ai prodotti sostenibili avanzati (come biocarburanti sostenibili, bioliquidi e biogas). La categoria successiva sarà quella dei prodotti sostenibili, ma non avanzati (come biocarburanti, bioliquidi e biogas), per i quali il tax rate sarà di 5,38 €/GJ<sup>233</sup>. Al contrario, i

<sup>233</sup><https://euractiv.it/section/energia-e-ambiente/news/trasporti-la-commissione-ue-vuole-rendere-piu-equa-la-tassazione-sui-combustibili-fossili-e-biocarburanti/>

combustibili fossili convenzionali, come gasolio e benzina, avranno l'aliquota minima più alta (10,75 €/GJ) insieme, però, alla categoria dei "biocombustibili sostenibili per alimenti e colture foraggere".

Selected fuels	Tax rate (€/GJ, after 2033)
Fossil fuels (diesel, petrol and natural gas)	10.75
Sustainable food and feed crop biofuels	10.75
Sustainable biofuels	5.38
E-fuels/hydrogen	0.15
Advanced biofuels	0.15
Electricity	0.15

Figura 39-Aliquote minime fuels; Fonte: EURACTIV

## Italia

### Iniziative per il settore aereo

È in corso di elaborazione il nuovo Piano Nazionale Aeroporti (PNA), un documento di indirizzo per lo sviluppo del trasporto aereo e del sistema aeroportuale, che disegna il perimetro dell'aviazione civile fino al 2035, in linea con le tematiche di sostenibilità ambientale, digitalizzazione e innovazione tecnologica previste dal PNRR.

Per quanto riguarda la sfida ambientale e della sostenibilità, le azioni che il nuovo PNA conta di introdurre entro il 2035 sono riconducibili al programma dell'International Civil Aviation Organisation (ICAO), che punta alla decarbonizzazione entro il 2050, alla riduzione delle emissioni acustiche e al contenimento dell'impatto dell'aviazione internazionale sui cambiamenti climatici. In particolare, il programma Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), adottato dall'Italia su base volontaria, contiene, come strumento sostanziale di contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, l'utilizzo dei Sustainable Aviation Fuel (SAF).

Per rispondere a tali priorità gli aeroporti dovranno adeguare, in linea con le indicazioni del Piano, le infrastrutture per consentire agli operatori aerei l'utilizzo dei carburanti alternativi o delle ulteriori tipologie di alimentazione sostenibile che dovessero rendersi disponibili (elettrico, idrogeno, ecc.) e per garantire la resilienza delle stesse infrastrutture rispetto ai possibili effetti dei cambiamenti climatici.

Il Piano fissa in tal senso una serie di obiettivi, tra cui:

- l'individuazione di quote minime di accessibilità sostenibile agli aeroporti, anche attraverso l'intermodalità con le ferrovie, veicoli elettrici o a idrogeno;

- l'uso di procedure aeroportuali green e relative certificazioni (Airport Carbon Accreditation), ovvero finalizzate a contribuire alla riduzione delle emissioni;
- il raggiungimento di una serie di target di carattere ambientale in linea con gli orientamenti dell'ICAO, tra cui lo sviluppo dei SAF, dei Low Carbon Aviation Fuel (LCAF) e delle altre fonti di energia per l'aviazione (elettriche, rinnovabili e idrogeno).

Il Piano tiene anche conto dei contenuti dell'Italy's Action Plan for CO2 emissions reduction, elaborato dell'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione civile) nel 2021, un documento che raccoglie le principali iniziative, azioni e progetti già realizzati e quelli in fase di realizzazione per ridurre le emissioni di CO2 nel trasporto aereo. Il documento riporta anche dati sulle emissioni di CO2 nel settore aereo in Italia, nonché sui target ambientali dei principali aeroporti italiani<sup>234</sup>.

### **Rapporto con la regolamentazione sovranazionale**

Si ricorda che il " Green Deal " europeo (COM(2019) 640 final) è stato pubblicato dalla Commissione UE l'11 dicembre 2019. Successivamente, il Parlamento europeo con la risoluzione 15 gennaio 2020 ha chiesto una normativa ambiziosa in materia di clima e di portare al 55%, rispetto ai livelli del 1990, l'obiettivo dell'UE per il 2030 in materia di riduzione delle emissioni di gas serra e del 90 % entro il 2050. Il meccanismo di governance delineato in sede UE prevede che ciascuno Stato membro sia chiamato a contribuire al raggiungimento degli obiettivi comuni attraverso la fissazione di propri obiettivi 2030, predisponendo i Piani nazionali integrati per l'energia e il clima (PNIEC). Nella relazione inviata alle Camere, il Governo italiano ha espresso una valutazione complessivamente positiva sulla proposta della Commissione europea, evidenziando alcune criticità, tra cui: la problematica relativa alla carenza delle materie prime necessarie alla produzione dei SAF e la conseguente necessità di estendere la lista prevista nella direttiva sulle energie rinnovabili; l'opportunità di prevedere un meccanismo di "book and claim" per tali combustibili che consenta ai vettori di acquistare quote di SAF direttamente dai produttori, ottenendo dei certificati che ne comprovano l'acquisto e potendo in tal modo, grazie a questi ultimi, compensare le emissioni conseguenti alla propria attività di volo anche operando da aeroporti ove il SAF non è fisicamente disponibile.

---

<sup>234</sup> Documentazione per le Commissioni RIUNIONI INTERPARLAMENTARI: Riunione interparlamentare "Raggiungere gli obiettivi del settore dei trasporti del *Fit for 55* a livello nazionale – opportunità e sfide" Bruxelles, 25 maggio 2023

## **Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) e il Piano per la Transizione Ecologica (PTE)<sup>235</sup>**

A livello nazionale, in attuazione del Regolamento (UE) 2018/1999, il MISE, il MIT ed l'allora Ministero dell'Ambiente hanno redatto e pubblicato il testo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) per gli anni 2021-2030, inviato alla Commissione europea a gennaio 2020.

Il PNIEC stabilisce gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuno di essi le misure che saranno attuate per assicurarne il raggiungimento. Tale documento tratta anche dimensione della ricerca, dell'innovazione e della competitività, la quale coinvolge anche lo sviluppo di tecnologie SAF attraverso misure come quella riportata in seguito:

“I fondi disponibili dalle aste CO<sub>2</sub> (D.Lgs. 30/2013) copriranno sviluppo sperimentale, in particolare per assicurare il sostegno ai progetti dimostrativi (first-of-a-kind), in modo da favorire il trasferimento dei risultati al sistema produttivo. In particolare, si segnala un accordo di cooperazione con centri di ricerca/amministrazioni pubbliche per lo sviluppo della produzione e uso dei biocarburanti nel settore aviazione e un progetto di ricerca ENAC per la produzione di un carburante alternativo proveniente da alghe microcellulari.”

Il Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica (CITE), istituito nell'ambito del nuovo Ministero della transizione Ecologica (MiTE) nato nel 2021, ha definitivamente approvato, con Delibera n. 1 dell'8 marzo 2022 (in G.U. 15 giugno 2022) il Piano per la Transizione Ecologica (PTE), che fornisce un inquadramento generale sulla strategia per la transizione ecologica italiana e un quadro concettuale che accompagna gli interventi del piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR).

Una delle otto aree di intervento del PTE è la mobilità sostenibile, in quanto una parte significativa delle azioni volte alla decarbonizzazione riguarda il settore dei trasporti, il quale è responsabile in Italia, complessivamente, di circa il 26% delle emissioni (in linea con la media EU27). Il trasporto privato (macchine e motocicli) è responsabile per circa il 56% delle emissioni del settore trasporti (con un peso relativo aumentato di 3,4 punti percentuali dal 1990 al 2019) mentre il 22% è attribuibile agli autobus e ai trasporti pesanti (-9,6 punti percentuali di calo nel peso relativo). Le ferrovie contribuiscono in maniera marginale (0,1%), con un peso relativo che dal 1990 si è anche ridotto di

---

<sup>235</sup> Camera dei deputati Servizio studi: “La mobilità sostenibile e il trasporto pubblico locale 14 ottobre 2023”

circa 0,5 punti percentuali. L'obiettivo di un loro azzeramento è possibile attraverso la progressiva conversione a veicoli elettrici, a idrogeno e a biocarburanti.

Il Piano italiano si allinea pertanto ai principali obiettivi indicati dalla Strategia europea sulla mobilità (2020), che prevedono 30 milioni di auto elettriche entro il 2030 (6 milioni in Italia), navi e aerei a emissioni zero fra il 2030 e il 2035; il raddoppio del traffico ferroviario ad alta velocità per il 2030 e la triplicazione entro il 2050; l'aumento del 50% del traffico merci su rotaia entro il 2030 e il suo raddoppio per il 2050.

Si ricorda che con la Delibera CIPE 108/2017 era stata approvata la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS), strutturata in cinque aree: Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership, che prevedeva una relazione annuale circa lo stato della sua attuazione. La Strategia è nata come strumento di coordinamento dell'attuazione dell'Agenda 2030 in Italia per essere il quadro di riferimento per la programmazione, la valutazione e il monitoraggio di politiche e investimenti pubblici ed è in fase di aggiornamento. Si ricorda altresì che il DL n. 111/2019 (c.d. Decretolegge Clima) aveva adottato misure urgenti per la definizione di una politica strategica nazionale per il contrasto ai cambiamenti climatici e il miglioramento della qualità dell'aria.

### **Il Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile (PSNMS)**

Il Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile è stato approvato con il DPCM 17 aprile 2019. Il Piano è destinato anche al rinnovo del parco autobus dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale, alla promozione e al miglioramento della qualità dell'aria con tecnologie innovative, in attuazione degli accordi internazionali sulla riduzione delle emissioni, nonché degli orientamenti e della normativa europea.

L'emanazione del Piano strategico nazionale della mobilità sostenibile è stata prevista dalla legge di Bilancio 2017 (articolo 1, commi 613- 615, della L. 232/2016) , con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri, su proposta del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, di concerto con il Ministro dello sviluppo economico, con il Ministro dell'economia e delle finanze e con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (comma 615). L'approvazione era prevista entro il 30 giugno 2017, ma è intervenuta la Corte Costituzionale, con la sentenza n. 78 del 2018, a dichiarare l'illegittimità di tale comma 615 nella parte in cui non ha previsto alcuna forma di coinvolgimento decisionale delle Regioni. A seguito di ciò, il 20 dicembre 2018 è stata raggiunta l'Intesa in Conferenza Unificata sullo schema di DPCM di approvazione del Piano strategico nazionale della mobilità sostenibile, a seguito della quale è stato poi definitivamente emanato il Piano. Al fine di realizzare il Piano la legge di Bilancio 2017 ha incrementato il c.d. "Fondo mezzi" di cui

all'articolo 1, comma 866, della legge 28 dicembre 2015, n. 208, di 200 milioni di euro per l'anno 2019 e di 250 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2020 al 2033.

Con decreto interministeriale n° 81 del 14/02/2020 sono state ripartite le risorse (per le finalità di cui all'articolo 5 del DPCM del 17/04/2019, a valere sulle risorse del c.d. Fondo mezzi" di cui all'art. 1, co. 866 della legge n. 208/2015), pari complessivamente a 2.200 milioni di euro destinate alle regioni per gli anni 2019-2033 per l'acquisto di autobus ad alimentazione alternativa e relative infrastrutture e con decreto interministeriale n° 71 del 09/02/2021 sono state ripartite le risorse (per le finalità di cui all'articolo 4 del DPCM del 17/04/2019 nonché quelle di cui all'articolo 1 comma 96 della legge 145/2018), pari complessivamente a circa 1.287 milioni di euro, destinate alle città metropolitane e ai comuni superiori ai 100.000 abitanti, per il finanziamento "di progetti sperimentali innovativi di mobilità sostenibile coerenti con i PUMS, per l'introduzione di mezzi su gomma o imbarcazioni e velivoli ad alimentazione alternativa e relative infrastrutture di supporto".

## L'osservatorio nazionale sui saf

A partire dal 2019, l'Enac ha istituito un "Osservatorio Nazionale sui SAF" con lo scopo di creare un tavolo tecnico partecipato da istituzioni, quali il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) e il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), e gli stakeholder italiani che hanno manifestato il proprio interesse verso i SAF.

Come sinteticamente rappresentato in Figura 41, tale gruppo è costituito da operatori aerei italiani e non, gestori aeroportuali, operatori della filiera dei carburanti (produttori, distributori e handler), costruttori di velivoli, enti di ricerca ed associazioni di categoria.



Figura 40- Mappa degli stakeholder partecipanti all'Osservatorio Nazionale sui SAF dell'Enac; Fonte: IT\_Brochure SAF Roadmap Enac



A partire dal 2022, l'Enac, in sinergia con MIT, MASE e gli stakeholder partecipanti all'Osservatorio Nazionale sui SAF, si è posto l'obiettivo di definire una "Roadmap per i SAF in Italia", focalizzando l'attenzione sullo studio di possibili policy incentivanti, con un approccio coerente rispetto al contesto definito dalla "RefuelEU Aviation".

Tutto ciò in collaborazione con il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, che si avvale del contributo del Politecnico di Torino, onde realizzare un'ipotesi di strategia condivisa da rimettere poi al decisore politico.

Le SAF policy proposte riguardano: investimenti per la produttività; sgravi fiscali per produttori e/o operatori; distribuzione del SAF sul territorio; importazione di materie prime<sup>236</sup>.

### **Patto per la decarbonizzazione del trasporto aereo**

Il Patto per la Decarbonizzazione del Trasporto Aereo rappresenta l'osservatorio promosso da Aeroporti di Roma con il patrocinio del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e di ENAC che riunisce player industriali, stakeholder istituzionali, associazioni di categoria e terzo settore, con l'obiettivo di avviare la discussione sulla transizione green e la neutralità climatica dell'intero settore entro il 2050. L'obiettivo di zero emissioni per l'intero settore richiede un impegno di lungo termine coordinato e condiviso di tutti gli attori coinvolti e, in questo senso, il rafforzamento del Patto attraverso la nascita della Fondazione, risponde efficacemente a questa esigenza<sup>237</sup>. Questa nuova configurazione garantisce maggiore concretezza e coordinamento nell'affrontare gli impegni del Patto sulla decarbonizzazione del trasporto aereo stimolando la somma degli investimenti pubblici e privati, la crescita infrastrutturale e rafforzando l'intermodalità. L'aspetto fondamentale della fondazione è la cooperazione e la messa a fattor comune delle iniziative di tutte le realtà che vi partecipano. Tale soluzione può essere valutata come pienamente in linea con lo scenario di risoluzione sistemica delle frizioni del mercato SAF, è infatti il dialogo tra i diversi attori della filiera, che si evolve nell'intraprendere progetti comuni, la chiave risolutiva offerta da tale patto.

Obiettivo primario del Patto è, attraverso il coordinamento dei principali player industriali coinvolti, stakeholder istituzionali e associazioni, favorire e accelerare il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità del trasporto aereo definendo un percorso atto al raggiungimento degli obiettivi europei salvaguardando il settore, incentivando gli investimenti attraverso misure in grado di ridurre le

---

<sup>236</sup> ENAC: "Sintesi del percorso dell'Enac per la definizione di SAF policy"

<sup>237</sup> Il mattino; 27/10/2023

emissioni come l'utilizzo di carburanti sostenibili, l'attività di ricerca di nuove tecnologie per la propulsione degli aerei e lo sviluppo dell'intermodalità.

Il decisore nazionale dovrebbe sostenere la domanda di approvvigionamento dei SAF su archi temporali variabili per supportare l'evoluzione degli obiettivi di incorporazione. Per evitare impatti negativi sui volumi di traffico, tali misure incentivanti dovranno interessare vari elementi della catena del valore (produzione, blending, distribuzione, aeroporti e compagnie aeree) in modo da minimizzare l'incremento del costo finale sul passeggero. A tal proposito la fondazione si dedica allo studio e alla proposizione di alcuni meccanismi di policy finalizzati a sostenere la decarbonizzazione del settore dell'aviazione.

Oltre all'aspetto normativo la fondazione presta grande attenzione anche ad altri aspetti come le infrastrutture e le operazioni aeroportuali per le quali si propone la figura degli energy hub per gli aeroporti, l'efficientamento e l'innovazione infrastrutturale degli aeroporti; l'efficientamento e l'innovazione gestione del traffico aereo e progetti di compensazione della CO2.

Un innovativo approccio volto ad offrire un'ulteriore soluzione per la decarbonizzazione del settore dei trasporti è l'intermodalità. Il patto articola questa opzione attraverso i seguenti aspetti: priorità alle opere che favoriscono l'intermodalità, sinergia tra il settore del trasporto aereo e il settore ferroviario, biglietto integrato, accessibilità facilitata tra aeroporti e porti e Urban o Advanced Air Mobility<sup>238</sup>.

## **Resto del mondo**

### **Stati Uniti d'America**

Gli Stati Uniti d'America (USA) sono attualmente il più grande mercato del trasporto aereo del mondo. Nel 2019, ci sono stati circa 852 milioni di viaggi di passeggeri aerei intrapresi da, da e all'interno degli Stati Uniti che rappresentano il 25% dei movimenti aerei globali. Inoltre, il paese è un esportatore netto di tecnologia aeronautica, che ospita alcuni dei più grandi produttori di aeromobili e motori del mondo, in particolare Boeing e GE Aerospace.

- Nel 2021, il governo degli Stati Uniti ha adottato il piano d'azione per il clima per l'aviazione degli Stati Uniti, che descrive l'approccio del paese per guidare il settore dell'aviazione a zero emissioni nette entro il 2050. Il piano include lo sviluppo di nuove tecnologie aeronautiche e dei motori più efficienti, miglioramenti nelle operazioni degli aeromobili in tutto il sistema dello spazio aereo nazionale, la promozione della produzione e dell'uso di SAF, dell'elettrificazione e potenzialmente

---

<sup>238</sup> 2nd Annual Congress Patto per la Decarbonizzazione del Trasporto Aereo CARTELLA STAMPA

dell'idrogeno, la partecipazione alla fase volontaria di CORSIA, nonché il sostegno diretto alla ricerca scientifica sul clima.

- Nel 2022, gli Stati Uniti hanno annunciato la SAF Grand Challenge, un'ambizione a livello governativo di ridurre i costi, migliorare la sostenibilità ed espandere la produzione e l'uso di SAF, che include un obiettivo di almeno 3 miliardi di galloni all'anno entro il 2030 e raggiungere il 100% del sollevamento del carburante per l'aviazione entro il 2050.
- Per consentire la consegna della SAF Grand Challenge, gli Stati Uniti hanno annunciato diversi strumenti di supporto nell' Inflation Reduction Act (IRA) del 2022. L'accordo include finanziamenti sia per SAF che per l'idrogeno. Per SAF, il piano include un nuovo programma di sovvenzioni competitive per il carburante alternativo e la tecnologia aeronautica a basse emissioni di 297 milioni di dollari. Fornisce anche due crediti d'imposta separati: un credito d'imposta del miscelatore SAF (BTC) di due anni fino al 2024 e il credito per la produzione di combustibile pulito fino alla fine del 2027, oltre al credito d'imposta per la produzione di idrogeno pulito. Estende anche il credito d'imposta sugli investimenti esistente ai progetti di idrogeno e alla tecnologia di stoccaggio dell'idrogeno autonoma.<sup>239</sup>

### **SAF Grand Challenge**

La SAF Grand Challenge è definita come un'iniziativa multi-agenzia guidata dal Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti (DOT), dal Dipartimento dell'energia (DOE) e dal Dipartimento dell'agricoltura (USDA) per attuare uno sforzo a livello governativo per ridurre i costi, migliorare la sostenibilità, ed espandere la produzione e l'uso di SAF. È stato annunciato durante una tavola rotonda della Casa Bianca sull'aviazione sostenibile il 9 settembre 2021.<sup>240</sup>

#### **Obiettivi:**

Aumentare la produzione di SAF negli Stati Uniti ad almeno 3 miliardi di galloni di SAF all'anno entro il 2030 e, entro il 2050, a SAF sufficiente per soddisfare il 100% della domanda di carburante per aviazione, che attualmente si prevede sia di circa 35 miliardi di galloni all'anno.

Attraverso la SAF Grand Challenge, DOE, DOT e USDA lavoreranno con altri partner di agenzie per consentire un ambizioso impegno a livello governativo per: 1) sfruttare le attività governative esistenti in ricerca, sviluppo, dimostrazione, implementazione, supporto alla commercializzazione e politica; 2) accelerare il nuovo supporto per la ricerca, lo sviluppo, la dimostrazione e l'implementazione; e, 3) implementare un quadro politico di supporto.

Per raggiungere gli Obiettivi della SAF Grand Challenge, queste azioni hanno lo scopo di:

---

<sup>239</sup> IATA: "Policy Net Zero Roadmap"

<sup>240</sup> ICAO, Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF

- **Ridurre il costo del SAF** attraverso attività critiche che riducono i costi di produzione lungo tutta la catena di fornitura; ampliare il portafoglio di materie prime e tecnologia di conversione; sfruttare e riutilizzare l'infrastruttura di produzione esistente; ridurre i rischi per l'industria; e fornire incentivi per la produzione.

- **Migliorare la sostenibilità dei SAF** massimizzando i co-benefici ambientali della produzione; dimostrare sistemi di produzione sostenibili; sviluppo di colture di materie prime a basso cambiamento di uso del suolo; ridurre l'intensità di carbonio delle filiere SAF; assicurando solidi standard che garantiscano integrità ambientale attraverso rigorose analisi del ciclo di vita; e, consentendo l'approvazione di livelli di miscela più elevati di SAF.

- **Ampliare l'offerta e l'uso finale di SAF** attraverso il sostegno allo sviluppo e alla dimostrazione della produzione regionale di materie prime e carburanti; sensibilizzazione, estensione e sviluppo della forza lavoro; nuove infrastrutture e supporto alla commercializzazione attraverso programmi federali; attuazione delle politiche di supporto che vengono emanate per SAF; consentire l'approvazione di diversi percorsi SAF; e, la continua sensibilizzazione e il coordinamento con gli utenti finali militari e industriali.

## **Cina**

Nel 2019, i movimenti degli aerei in Cina hanno rappresentato circa il 12% delle operazioni di trasporto aereo globale. Ha uno dei più grandi mercati dell'aviazione nazionale al mondo. Inoltre, la Cina diventerà probabilmente un importante operatore tecnologico aeronautico avendo recentemente ricevuto un certificato di tipo dalla Civil Aviation Administration of China (CAAC) dell'aeromobile COMAC C919.

Nel 2020, la Cina ha annunciato la sua ambizione di raggiungere il picco delle emissioni di CO<sub>2</sub> prima del 2030 e di fornire la neutralità del carbonio prima del 2060. Nel piano, la Cina mira ad accelerare la costruzione di un sistema di trasporto verde e a basse emissioni di carbonio, riconoscendo il difficile compito di decarbonizzare l'aviazione. Lo sviluppo della tecnologia degli aeromobili e dei motori, l'uso di combustibili per l'aviazione sostenibili, così come l'efficienza nella gestione del traffico aereo sono menzionati come misure da esplorare.

Nel marzo 2023, in linea con l'ambizione di cui sopra, CAAC ha indicato che è in corso uno studio di fattibilità sul piano per l'adozione di SAF, costituito da un obiettivo del 10% del consumo di carburante dell'aviazione entro il 2035 e del 50% entro il 2050. La fattibilità dell'obiettivo e i suoi requisiti politici abilitanti saranno valutati e decisi attraverso un nuovo gruppo leader del CAAC che è una ristrutturazione del gruppo CAAC sul risparmio energetico e il controllo delle emissioni.<sup>241</sup>

---

<sup>241</sup> IATA: "Policy Net Zero Roadmap"

## **Regno Unito**

Nel 2019, i movimenti di aeromobili nel Regno Unito hanno rappresentato il 3% delle operazioni globali. Pur essendo un mercato chiave dell'aviazione, il Regno Unito ha anche un'importante industria aerospaziale, che ospita alcuni degli impianti di produzione di Airbus e uno dei più grandi produttori di motori aeronautici al mondo, Rolls Royce.

Nel 2022, il Regno Unito ha pubblicato la UK Jet Zero Strategy, delineando l'ambizione dello stato di raggiungere emissioni nette zero nell'aviazione entro il 2050. Gli obiettivi chiave all'interno del piano sono di consentire voli nazionali a zero netti entro il 2040, un mandato SAF con il 10% di SAF nel mix di combustibili del Regno Unito entro il 2030, operazioni aeroportuali nette a zero in Inghilterra entro il 2040, una traiettoria di riduzione delle emissioni dal 2025 e l'implementazione di CORSIA entro il 2024.

Il SAF svolge un ruolo significativo nella strategia Jet Zero poiché il Regno Unito prevede di essere un leader globale nello sviluppo, nella produzione e nell'uso di SAF e la strategia assicura che ci saranno almeno 5 impianti SAF del Regno Unito su scala commerciale in costruzione entro il 2025. Gli strumenti finanziari chiave sono 180 milioni di sterline di nuovi finanziamenti, distribuiti attraverso l'Advanced Fuels Fund e mirati a sostenere la commercializzazione degli impianti SAF e i test sui carburanti. Questo è in aggiunta a 400 milioni di sterline di finanziamenti attraverso una partnership governativa con Breakthrough Energy Catalyst. Inoltre, il Regno Unito prevede di istituire una stanza di compensazione SAF per consentire i primi test statali del carburante per l'aviazione.

Altre ambizioni sono la consegna del primo volo transatlantico zero netto in esecuzione al 100% SAF - fornendo fino a 1 milione di sterline di finanziamenti e 100 milioni di sterline per R&S e 1 miliardo di sterline di investimenti per lo sviluppo di cluster di cattura, utilizzo e stoccaggio del carbonio. Il Regno Unito mira anche a raddoppiare la sua produzione di idrogeno fino a 10 GW entro il 2030. Per sostenere lo sviluppo di nuove tecnologie aeronautiche, compresi gli aeromobili a idrogeno, sono stati concessi 685 milioni di sterline di finanziamenti governativi di ricerca e sviluppo all'Aerospace Technology Institute (ATI) Programma oltre il 2022-2025. Questa è una parte del fondo di investimento congiunto del governo e dell'industria da 3,9 miliardi di sterline per la ricerca aerospaziale e lo sviluppo tecnologico nel Regno Unito. Prima di queste ambizioni, il Regno Unito aveva già stabilito la sua strategia per l'idrogeno.<sup>242</sup>

---

<sup>242</sup> IATA: "Policy Net Zero Roadmap"

## Capitolo 4: elementi per lo sviluppo di specifiche normative di settore

### Sezione 1: Linee generali policy relative allo sviluppo de mercato dei SAF

#### Obiettivi di policy

Il carburante per aviazione sostenibile (SAF) è riconosciuto a livello globale come elemento di un paniere di misure volte ad affrontare l'impatto dell'aviazione sui cambiamenti climatici e sull'ambiente. L'uso di SAF da parte dell'industria aeronautica mondiale ha il potenziale per fornire significative riduzioni del ciclo di vita delle emissioni di gas serra dell'aviazione, nonché riduzioni delle emissioni convenzionali di inquinanti della qualità dell'aria.

Sebbene sia stato confermato che i SAF sono tecnicamente fattibili, l'ampliamento della disponibilità e della produzione economicamente vantaggiosa di SAF rimane una sfida significativa. Ad oggi, la capacità di produzione di SAF è limitata a causa di una serie di barriere tra cui costi di produzione significativamente più elevati per SAF rispetto al cherosene convenzionale; materie prime limitate e infrastrutture per la produzione di carburante; e, percepiti rischi e costi elevati per finanziare l'infrastruttura SAF. Queste barriere rendono necessario un intervento politico per sviluppare la produzione SAF oltre la piccola scala.

È possibile identificare tre macro-obiettivi per le policy relative allo sviluppo de mercato dei SAF<sup>243</sup>:

- **Incrementare l'offerta sostenibile di SAF** attraverso l'aumento della capacità produttiva e della disponibilità di materie prime.
- **Aumentare la domanda di SAF** attraverso strumenti obbligatori basati sul mercato e volontari, tra cui la creazione di mandati per l'uso del SAF nella fornitura di carburanti per il trasporto.
- **Collegare e amplificare l'efficacia delle misure relative all'offerta e alla domanda**, riducendo gli ostacoli e promuovendo gli scambi commerciali.

Di seguito sono riportate in modo grafico e sintetico le possibili strategie decisionali per ciascuno dei tre macro-obiettivi, assieme a una serie di proposte di policy specifiche.

---

<sup>243</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».\*\*\*

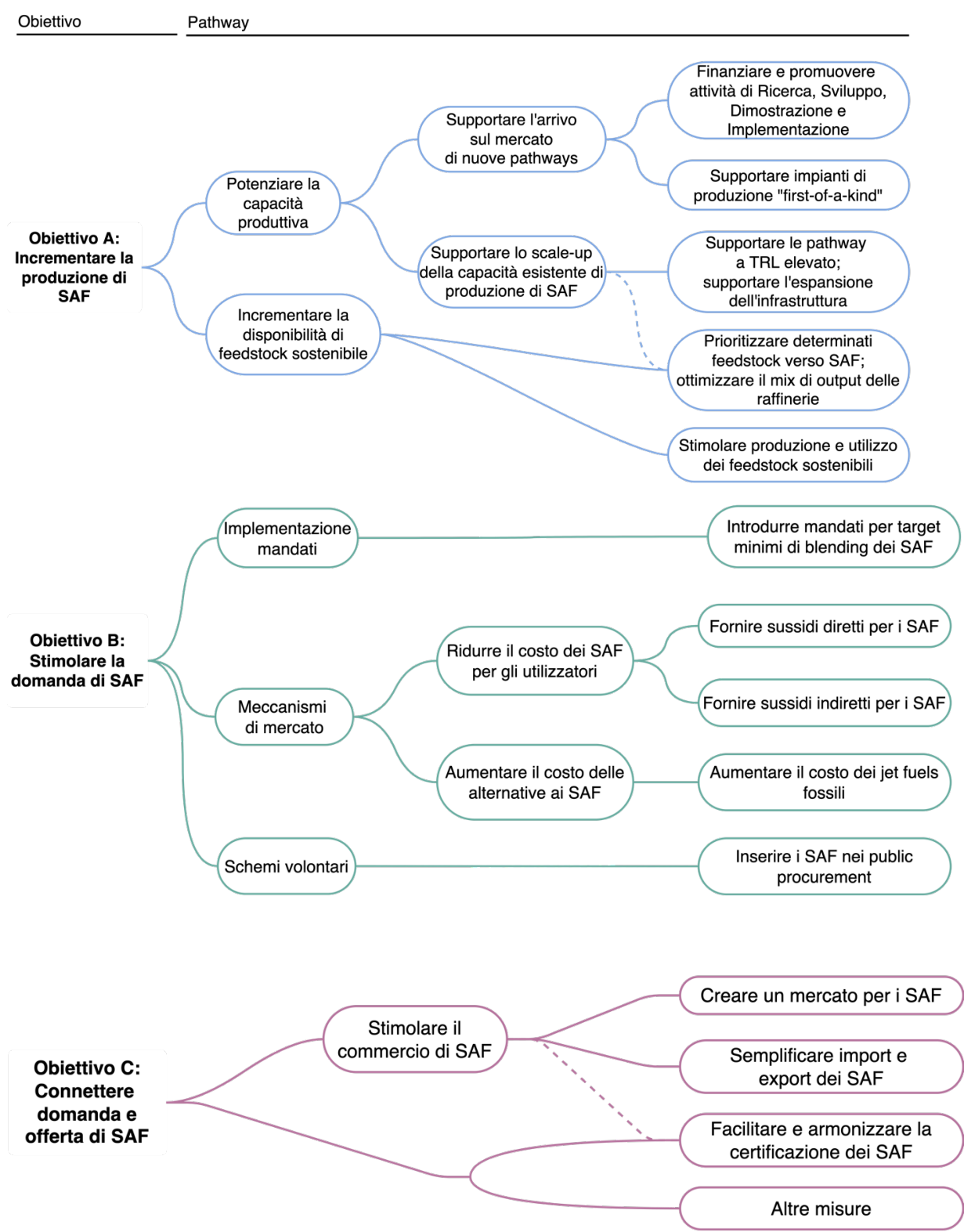


Figura 41-Riepilogo strategie decisionali per i tre macro-obiettivi definiti

### Contesto del compito di guida politica

La produzione SAF è attualmente limitata da una serie di sfide per l'ulteriore sviluppo e implementazione, tra cui:

- il differenziale di costo con il cherosene convenzionale e gli attuali maggiori costi di produzione per i SAF;
- disponibilità limitata di materie prime SAF e infrastrutture per la loro produzione;
- investimenti limitati causati da un contesto altamente incerto e costi elevati di finanziamento dell'infrastruttura di produzione di carburante SAF;
- competizione per risorse e incentivi con altri settori (es. autotrasporto, energia rinnovabile).

Finché il costo di produzione per SAF è maggiore del cherosene convenzionale, le materie prime e l'infrastruttura di produzione non vengono costruite e non viene data priorità ai SAF, sarà necessario un intervento politico per sviluppare la produzione di SAF oltre la sua attuale piccola scala.

Le barriere economiche di SAF possono essere affrontate attraverso una serie di opzioni politiche. Le caratteristiche di un'efficace politica di abilitazione SAF discusse di seguito riflettono ciò che sarebbe considerato auspicabile per qualsiasi tipo di politica sui combustibili rinnovabili.

Sulla base del contributo degli esperti CAEP dell'ICAO, tre temi chiave influenzano l'efficacia delle politiche:

1. Fattibilità: praticabile e semplice da implementare
2. Efficacia: successo nel produrre un risultato desiderato o previsto
3. Praticità: la politica mira al risultato piuttosto che a una teoria o a un insieme di idee

Inoltre, per essere efficaci, le politiche/programmi specifici del SAF dovrebbero essere stabili, prevedibili e coerenti nell'attuazione affinché i privati vengano stimolati nell'investire oltre ad avere una durata sufficiente che rispetti le tempistiche di sviluppo del progetto (ad es. 10 anni o più fornisce un certo grado di prevedibilità per investitori/sviluppatori); per questi motivi sarebbe necessario un sostegno politico bipartisan.

Dal punto di vista prettamente normativo è importante che venga garantita una certa coerenza tra le diverse norme prevedendo aspetti di cumulabilità e rafforzamento reciproco.

Il fine del regolatore è quindi quello di stimolare capacità e innovazione, ciò può essere fatto supportando e soddisfacendo le esigenze delle aziende, ad esempio, attraverso un accesso al capitale, che non sia diluitivo, tramite sovvenzioni e prestiti ma mantenendosi tecnologicamente neutrale in modo da non bloccare la sperimentazione e quindi l'innovazione.

Altro tema è quello legato alla personalizzazione in quanto a causa dei diversi climi, sistemi agricoli, risorse e fattori economici, le opportunità per la produzione di SAF possono essere uniche in ogni specifico Stato. È probabile che anche le barriere politiche, la struttura normativa esistente e l'economia siano uniche in ogni Stato. Pertanto, non esiste un unico percorso per il successo dell'attuazione della politica SAF. Piuttosto, una strategia ponderata e personalizzata può essere



efficace a condizione che la singola roadmap nazionale sia integrata e contribuisca ad uno sviluppo internazionale globalmente definito.

### **Mix di policy**

I quadri normativi nazionali ed internazionali risultano come supporto essenziale per la diffusione su ampia scala de carburanti sostenibili per l'aviazione, in quanto il loro sviluppo, come riportato in precedenza, è possibile solo attraverso il superamento di diversi ostacoli che interessano diversi segmenti della value chain. Questo aspetto fa sì che l'attenzione del regolatore si sposti sul mix di policy e non sulla singola norma, in quanto è indispensabile che diverse norme, relative ai diversi segmenti, siano complementari ed operino in maniera integrata nel segno di una mission di livello più alto. È qui necessario definire in maniera chiara il fine verso il quale si opera e a partire da questo realizzare tutti i tasselli sottostanti che rendano fattibile il superamento degli ostacoli presenti in ogni segmento della filiera.

Di seguito vengo riportati alcuni aspetti fondamentali da tenere in considerazione nello sviluppo della combinazione di policy<sup>244</sup>.

- **Definire target nazionali di penetrazione SAF raggiungibili ma sufficientemente ambiziosi:** Lavorare con il settore privato, gli stakeholder industriali e i partner internazionali per limitare potenziali distorsioni del mercato. Verificare il potenziale a livello nazionale attraverso la realizzazione di studi di fattibilità.
- **Fornire supporto ad un insieme di materie prime per la produzione di SAF:** nel breve termine è necessario bilanciare disponibilità e sostenibilità mentre la filiera evolve, definendo al contempo una visione di lungo periodo.
- **Supportare lo sviluppo dei SAF all'interno di strategie intersettoriali:** dirigere i carburanti drop-in sostenibili verso settori hard-to-abate, tra cui l'aviazione, nel settore dei trasporti, può essere una strategia funzionale alla loro decarbonizzazione, considerando la difficoltà tecnologica di attivare elettrificazione ed idrogeno nel medio periodo. È necessario però un allineamento con le strategie degli altri ambiti, come stradale e marittimo, per evitare distorsioni del mercato e competizione per le risorse.
- **Stabilire obiettivi e politiche di supporto di lungo termine:** L'attività di sviluppo del mercato dei SAF è ancora nelle sue prime fasi di sviluppo. Sono pertanto necessarie azioni di

---

<sup>244</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».\*\*\*

policy attive su scala temporale simile a quella degli investimenti interessati, assieme ad un framework regolamentale stabile.

- **Ricerca un insieme bilanciato di policy a supporto di domanda e offerta:** molteplici parametri come, ad esempio, la disponibilità di feedstock, la maturità delle filiere, la dipendenza energetica e gli obiettivi e traguardi fissati devono essere bilanciati in modo coordinato.
- **Enforcement:** Misure di policy che implementino obblighi e mandati, devono includere meccanismi di applicazione che risultino sufficientemente onerosi per gli operatori economici che non rispettano gli obblighi, in modo da disincentivare il pagamento di multe rispetto all'adempimento.

### **Opzioni di politica SAF**

Sono necessarie politiche stabili a lungo termine per creare un mercato rilevante per i SAF e che siano integrate nel contenuto normativo globale pur presentando una differenziazione regionale volta a sfruttare le caratteristiche uniche dei diversi territori.

### **Opzioni politiche per la value chain SAF**

Individuando 3 macr-aree relative alla value-chain dei SAF i meccanismi politici possono:

- 1) Stimolare la crescita dell'offerta SAF (ad es. tramite R&S, investimenti, finanza);  
È necessario ridurre il rischio first-mover di investire in impianti di produzione SAF first- e second-of-kind (FOAK e SOAK), attualmente elevato a causa del loro basso TRL; e garantire una sufficiente disponibilità di materie prime per la produzione di SAF.
- 2) Creare domanda SAF (ad es. tramite mandati, sovvenzioni e impegni);  
La mancanza di domanda di SAF è causata dall' alto differenziale di costo rispetto al combustibile per aerei fossili
- 3) Abilitare il mercato SAF (ad esempio tramite gli standard)

Per superare questa sfida, i responsabili politici, i leader del settore, le istituzioni finanziarie e i clienti devono agire secondo una logica comune non perdendo di vista quella che è integrità della filiera è il concetto per cui ogni azione che interessa un singolo segmento della filiera riverbererà su tutti gli altri della stessa filiera. Da ciò deriva la possibilità di risolvere le problematiche precedentemente individuate sia con misure dirette che indirette.

Proviamo ad esempio ad analizzare 2 problematiche rilevanti nello sviluppo del mercato SAF.

1. Differenziale di costo tra SAF e combustibile fossile;

I responsabili politici possono colmare questo differenziale o con misure dirette, che quindi interessano l'ultimo tassello della value chain, ovvero la fissazione del prezzo o attraverso misure che vanno ad interessare fasi a monte della filiera ma che generano un effetto sul prezzo, e quindi indirette. Proponiamo degli esempi:

- Stabilire meccanismi di mercato che prezzino adeguatamente il costo delle emissioni di gas serra derivanti dall'uso di carburanti fossili a circa 100-200 dollari per tonnellata di CO<sub>2</sub>, e (ad esempio, tassando i carburanti fossili, come discusso dalla Commissione europea nella sua politica ReFuelEU per l'aviazione proposta, evitando distorsioni del mercato concorrenziale)
- Fornire sovvenzioni dirette per gli impianti FOAK e SOAK SAF, ad esempio tramite incentivi fiscali (come i crediti d'imposta negli Stati Uniti) o sovvenzioni in conto capitale, garantendo allo stesso tempo la neutralità tecnologica.

## 2. Mitigare il rischio di first-movers

I responsabili politici possono mitigare questo rischio, che genera una carenza nell'offerta di SAF, con misure dirette e quindi meccanismi di condivisione del rischio come partenariati pubblico-privato o attraverso misure indirette, quali ad esempio, agire sulla domanda in modo da garantire un'allocazione della produzione o assicurando il riconoscimento dei SAF in regimi di riduzione dell'impatto ambientale in modo che i produttori possano usufruire dei benefici previsti. Esempi di misure attuabili in tale ambito sono quelle che seguono:

- Stimolare la domanda tramite mandati combinati (come quello proposto dalla Commissione europea) - idealmente con una quota SAF di almeno il 5%-7% sulla domanda finale di energia dell'aviazione entro il 2025, 10%-15% entro il 2030, circa il 30% entro il 2035, 60% -65% entro il 2040 e 95%-100% dal 2045 in poi.
- Stimolare la domanda tramite sovvenzioni dirette o indirette per i SAF, ad esempio incentivi fiscali per gli acquirenti, i produttori o i miscelatori di SAF.
- Stimolare la domanda tramite appalti pubblici verdi (come il governo degli Stati Uniti che utilizza la sua scala per raggiungere determinati obiettivi climatici, ad esempio, trasporto su strada pulito al 100% per la propria flotta in anticipo rispetto alle tempistiche nazionali).
- Ridurre i rischi degli investimenti privati per scalare la produzione di SAF attraverso partenariati pubblico-privato (come il Jet Zero Council, convocato dal governo del Regno Unito per scalare soluzioni di aviazione sostenibile) e finanziamenti misti (come il programma Catalyst di Breakthrough Energy<sup>1245</sup>).

---

<sup>245</sup> Breakthrough Energy Catalyst

- Sostenere RD&D e fornire sicurezza di pianificazione a lungo termine per nuovi percorsi di produzione SAF per almeno 10 anni per entrare nel mercato (come il finanziamento PtL tedesco per 10 anni) e per nuove tecnologie di propulsione (come il programma FlyZero dell'Aerospace Technology Institute<sup>246</sup>)
- Reindirizzare le capacità di fornitura di SAF esistenti dal trasporto su strada al settore dell'aviazione rivedendo le politiche che favoriscono la produzione di carburanti per il trasporto terrestre come il biodiesel e sbloccando ulteriori volumi di biomassa sostenibile per la produzione di SAF.
- Garantire il riconoscimento di SAF nell'ambito dei regimi di riduzione dei gas a effetto serra regionali e globali (ad es. EU ETS, CORSIA) garantendo al tempo stesso che sia evitato il doppio conteggi.

### Politiche per il settore dell'aviazione

Andando invece a ragionare sull'intero settore dell'aviazione individuiamo 4 aree di azione:

- i) **lato aviation:** per ridurre l'onere legato al più elevato costo dei carburanti si possono implementare soluzioni del tipo:
  - a. prevedere, in accordo con l'Autorità settoriale, eventuali sconti sulle tariffe aeroportuali per i diritti di atterraggio/partenza;
  - b. legare l'erogazione di specifici incentivi all'attività volativa all'utilizzo dei SAF;
  - c. prevedere l'adozione di contratti per differenza. Un contratto per differenza è un accordo tra due parti (nel caso in esame, il Ministero e un vettore) finalizzato a scambiare la differenza tra il valore attuale di un determinato bene (il valore dei SAF) e il valore del bene al momento della conclusione del contratto. L'idea sarebbe quella di un intervento che assicuri al vettore aereo il pagamento di un prezzo predefinito e quindi ridurre la volatilità dei prezzi del nuovo carburante, fonte principale di rischio per i vettori aerei.
- ii) **lato gestore aeroportuale:** per favorire la disponibilità di SAF nei siti aeroportuali si possono implementare misure come:
  - a. garantire una extra remunerazione per investimenti specifici, relativi ad esempio alla realizzazione delle infrastrutture di logistica e dei serbatoi ad hoc
  - b. prevedere nuovi criteri di assegnazione degli slot di partenza/atterraggio che tengano conto di criteri prioritari per chi usa SAF.
- iii) **lato produttori combustibili green:**
  - a. introdurre incentivi sulla quantità (ossia sui volumi di SAF prodotti in modo addizionale rispetto ai target già previsti);
  - b. introdurre incentivi economici ad hoc per i produttori che si specializzano nella fornitura di SAF agli aeroporti;
  - c. creare centri di miscelazione in grado di rifornire più aeroporti, per coordinare la domanda di SAF e quindi facilitare la logistica di approvvigionamento;

---

<sup>246</sup> ATI; OUR VISION FOR ZERO-CARBON EMISSION AIR TRAVEL

- iv) **lato operatori aeroportuali:** per favorire i processi di decarbonizzazione anche da parte dei vari operatori aeroportuali (ad esempio, gli handlers) si possono introdurre misure tipo:
- Introduzione di misure di sostegno tipo “ammortamento accelerato” – come già adottato per gli investimenti in Industria 4.0 – per l’utilizzo di per mezzi elettrici o utilizzanti carburanti verdi;
  - Sostegni diretti nella forma di sussidi (parziali o totali) o voucher per investimenti in decarbonizzazione;
  - Favorire l’adozione di misure di agevolazione fiscale per gli investimenti in decarbonizzazione.<sup>247</sup>

### Politiche per il mercato SAF

Di seguito viene offerta una schematizzazione delle opzioni di policy attuabili nel percorso di decarbonizzazione del settore dell’aviazione, tale schematizzazione è stata realizzata a partire dall’analisi condotta da ICAO nell’ambito del report: “Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF”<sup>248</sup>.

Le diverse misure proposte vengono suddivise sui tre macro-obiettivi citati in precedenza:

- Incrementare la produzione di SAF
- Stimolare la domanda di SAF
- Connettere domanda e offerta di SAF

### Opzioni politiche volte ad incrementare l’offerta sostenibile di SAF

Table 15-Opzioni politiche finalizzate ad incrementare la produzione di SAF

CATEGORIA POLITICA	OPZIONE	DESCRIZIONE
1 - Finanziamenti governativi per la ricerca, lo sviluppo, la dimostrazione e l'impiego di SAF (RDD&D) per accelerare l'apprendimento	1.1 - R&S del governo	La ricerca e il finanziamento del governo per affrontare gli ostacoli alla produzione e all'uso di SAF possono aiutare le innovazioni nella produzione di SAF nella fase iniziale. Supporta anche l'economia SAF accelerando la curva di apprendimento per i rendimenti delle materie prime o l'ottimizzazione della produzione. Il sostegno può derivare dall'istituzione di programmi specifici o dal sostegno ad attività di ricerca private esistenti o attraverso università o istituzioni simili.
	1.2 - Manifestazione governativa e distribuzione	La ricerca e il finanziamento del governo per dimostrare e ridurre i rischi di nuove materie prime e tecnologie di conversione possono fornire supporto sia ai fornitori di materie prime che di tecnologia dei carburanti per aumentare e integrare la loro produzione. Questo supporto accelera il processo di apprendimento sulla tecnologia e la scalabilità della supply chain. Il sostegno può derivare dall'istituzione di programmi specifici che supportano i produttori del settore privato esistenti.

<sup>247</sup> «Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT».

<sup>248</sup> ICAO, Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF

2 - Incentivi mirati e sgravi fiscali per ampliare le infrastrutture di approvvigionamento SAF	2.1 - Contributi in conto capitale	Una sovvenzione governativa concessa a un'entità per costruire o acquistare un'infrastruttura specifica per SAF. Ciò può supportare una gamma di impianti di produzione, trasporto, rifornimento o infrastrutture di miscelazione. I contributi in conto capitale riducono il fabbisogno finanziario e i rischi finanziari dell'investimento mirato.
	2.2 - Programmi di garanzia del credito	Un prestito garantito da un'istituzione governativa aiuta il caso finanziario del progetto e riduce anche il rischio complessivo del progetto, facilitando l'acquisizione di capitale di debito aggiuntivo e abbassando il costo del capitale.
	2.3 - Ammissibilità dei progetti SAF allo status di impresa fiscalmente agevolata	Ad esempio, le master limited partnership (MLP) sono un tipo di organizzazione aziendale statunitense specializzata il cui utilizzo è limitato ai settori immobiliare e delle risorse naturali (ad esempio, produzione di petrolio). Le MLP non pagano le imposte federali sul reddito allo stesso modo delle altre strutture aziendali.
	2.4 - Ammortamenti anticipati/bonus	L'ammortamento accelerato o bonus consente la cancellazione contabile dell'investimento di capitale o la possibilità di cancellare più dell'effettivo investimento di capitale. Ciò si tradurrà in una minore tassa prevista da pagare per tutta la durata del progetto e migliorerà l'economia complessiva del progetto.
	2.5 - Credito d'imposta per Investimenti d'Impresa (ITC) per gli investimenti SAF	Un credito d'imposta ITC consente la detrazione dei costi di costruzione e/o messa in servizio di un bene idoneo che può ridurre l'imposta sul reddito da pagare e fluire attraverso gli investitori. Ciò si tradurrà in una minore tassa prevista da pagare per tutta la durata del progetto e migliorare l'economia generale del progetto.
	2.6 - Credito d'imposta basato sui risultati	Il concetto offre un credito d'imposta per un progetto che soddisfa determinate condizioni. Il credito potrebbe essere un credito di performance su scala decrescente (credito più elevato per progetti con migliori prestazioni in termini di emissioni di gas a effetto serra) e dovrebbe avere una durata definita (ad esempio 10-15 anni).
	2.7 - Obbligazioni / Green Bond	Le obbligazioni possono essere emesse da società private, istituzioni sovranazionali ed enti pubblici, compresi i governi subnazionali e locali, per fornire finanziamenti a basso tasso di interesse ed esentasse utilizzati per sostenere la costruzione di infrastrutture per la produzione di carburante. I Green Bond sono progettati specificamente per supportare specifici progetti legati al clima o ambientali.
3 - Incentivi mirati e sgravi fiscali a supporto del funzionamento dell'impianto SAF	3.1 Incentivi al blending: Blender's Tax Credit	Un incentivo rivolto ai fornitori o miscelatori di carburante che prevede un credito contro le tasse. Ciò mitiga il costo di produzione dei miscelatori o la differenza di acquisto tra SAF e fossil jet.
	3.2 - Incentivi alla produzione: Credito d'imposta sul produttore	Un incentivo rivolto ai produttori di carburanti che prevede un credito contro le tasse. Ciò mitiga il costo della differenza di produzione tra SAF e jet fossile.
	3.3 - Credito di accisa per SAF	Per gli Stati che tassano il consumo nazionale di carburante per aerei, una riduzione o l'eliminazione della tassa in proporzione alla quantità di SAF consumata serve a incentivare i consumatori di carburante ad acquistare SAF contribuendo a ridurre il costo SAF.
	3.4 - Sostegno allo stabilimento e alla produzione di materie prime	Un sostegno mirato può far fronte ai rischi e ai costi per gli agricoltori e i fornitori di materie prime derivanti dalla creazione di una nuova coltura e dalla sua produzione in condizioni incerte. Il sostegno del programma di assicurazione del raccolto per SAF può anche essere preso in considerazione in aggiunta ai pagamenti di sovvenzioni agli agricoltori volti a incentivare la produzione.
4 - Riconoscimento e valorizzazione dei benefici ambientali SAF	4.1 - Riconoscere i benefici SAF nell'ambito della tassazione del carbonio	Laddove una giurisdizione ha introdotto una tassa sul carbonio, un prezzo del carbonio o una tassa sul carbonio (ovvero fissando un'aliquota fiscale sulle emissioni di carbonio per ciascun tipo di carburante, fornendo così un segnale per ridurre le emissioni), il SAF potrebbe essere valutato come zero o in proporzione alle emissioni di gas a effetto serra durante il ciclo di vita beneficiano del particolare combustibile, quindi soggetto a tassazione ridotta. Ciò differisce da un sistema cap and trade in quanto non stabilisce un obiettivo complessivo di riduzione delle emissioni.

4.2 - Riconoscere i vantaggi SAF nell'ambito dei sistemi cap and-trade	I sistemi cap-and-trade limitano le emissioni totali di gas a effetto serra fissando un livello massimo di emissioni e consentendo ai partecipanti con emissioni inferiori di vendere i permessi di emissione in eccesso a emettitori più grandi. Questo sistema crea domanda e offerta di permessi di emissione e stabilisce un prezzo di mercato per le emissioni e un valore per le emissioni evitate. Se SAF fosse utilizzato in un tale sistema, esonererebbe l'utente del SAF dagli obblighi previsti dal regolamento.
4.3 - Riconoscere i vantaggi SAF non legati al carbonio: miglioramenti della qualità dell'aria	Alcuni programmi e incentivi attribuiscono un valore alla qualità dell'aria locale. I SAF dovrebbero essere in grado di partecipare finanziariamente a questi regimi di incentivi basati sui benefici della qualità dell'aria che alcuni SAF potrebbero essere in grado di fornire.
4.3 - Riconoscere i benefici SAF non legati al carbonio: riduzione delle scie di condensazione	Man mano che la comprensione della scienza si evolve, le riduzioni nella formazione di scie risultanti dall'uso di SAF possono essere riconosciute per i loro benefici ambientali.

## Opzioni politiche volte a stimolare la domanda di SAF

Table 16-Opzioni politiche finalizzate a stimolare la domanda SAF

CATEGORIA POLITICA	OPZIONE	DESCRIZIONE
5- Creazione mandati SAF	5.1 - Obbligo di requisiti di volume di energia rinnovabile nella fornitura di carburante	Un obbligo per i fornitori di carburante di fornire volumi crescenti di carburante SAF aggiunti alla fornitura di carburante esistente su un programma pluriennale crea un incentivo per la produzione di più SAF e altri combustibili che soddisfano le definizioni di energia rinnovabile del programma. Queste definizioni possono includere i requisiti relativi alle emissioni di gas a effetto serra durante il ciclo di vita.
	5.2 - Mandato di riduzione dell'intensità di carbonio dell'approvvigionamento di combustibili	Un obbligo per i fornitori di carburante di ridurre l'intensità di carbonio (intensità delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita) della fornitura di carburante per i trasporti su un programma pluriennale crea un incentivo per la produzione di più SAF e altri carburanti con benefici in termini di gas serra. Gli standard sui combustibili a basse emissioni di carbonio (LCFS) e gli standard sui combustibili puliti possono consentire di mirare all'intensità di carbonio dell'approvvigionamento di carburante dello Stato.
6 - Aggiornare le politiche esistenti per incorporare SAF	6.1: Incorporare il SAF nelle politiche nazionali esistenti	Molte politiche a livello nazionale possono essere adattate per incorporare SAF. In genere, le politiche esistenti sui biocarburanti si sono concentrate su carburanti adatti al trasporto su strada e non includono i SAF come opzione. Con il più recente avvento delle tecnologie di produzione drop-in di jet fuel/SAF, esiste l'opportunità di aggiornare le politiche esistenti per supportare la produzione di SAF.
	6.2: Incorporare il SAF nelle politiche subnazionali, regionali o locali esistenti	Le attuali politiche di incentivazione per i carburanti alternativi a livello subnazionale, regionale o locale potrebbero essere più adatte a incorporare i SAF come carburanti qualificati. Un aggiornamento di queste politiche esistenti per supportare la produzione di SAF può fornire ulteriore supporto e può consentire un vantaggioso "accumulo" di incentivi a più livelli che contribuisce alla redditività economica di SAF.

7 – Dimostrare la leadership del governo	7.1 Dichiarazione politica per stabilire la direzione	La definizione di obiettivi ambiziosi di produzione o utilizzo specifici equivale a segnalare l'intenzione futura di sviluppare misure politiche SAF complete. Ciò può essere collegato all'attuazione di politiche future, inviando un segnale per la pianificazione del progetto. Gli esempi potrebbero includere impegni a livello statale per un obiettivo di utilizzo quantitativo di SAF o riduzione delle emissioni di carbonio entro un certo periodo, o segnali dall'industria come un impegno a raggiungere lo zero netto entro il 2050.
	7.2: Impegno del governo per l'uso di SAF, viaggi aerei a emissioni zero	È possibile creare un forte segnale di domanda richiedendo ai governi nazionali, statali, locali e militari di impegnarsi nell'approvvigionamento di carburante rinnovabile/SAF per ridurre l'impatto ambientale dei viaggi aerei e delle operazioni. I governi hanno spesso la possibilità di impegnarsi in contratti a lungo termine sostenuti da un forte rating creditizio che riduce il rischio del progetto. I governi possono acquistare direttamente SAF per l'utilizzo da parte di aeromobili governativi o stipulare contratti con vettori aerei commerciali per fornire SAF per alimentare i viaggi acquistati dal governo.

## Opzioni politiche volte a connettere domanda e offerta di SAF

Table 17-Opzioni politiche finalizzate a connettere domande e offerta di SAF

CATEGORIA POLITICA	OPZIONE	DESCRIZIONE
8 - Attività di supporto al mercato	8.1 - Adottare standard di sostenibilità chiari e riconosciuti e metodi di emissione di gas serra nel ciclo di vita per la certificazione della fornitura di materie prime e della produzione di carburante	L'uso di standard chiari e metodi armonizzati per il calcolo delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita e la certificazione di sostenibilità sosterrà ampi mercati SAF e garantirà l'integrità ambientale.
	8.2 - Sostenere lo sviluppo/riconoscimento di sistemi per la proprietà e il trasferimento degli attributi ambientali	Processi standard e sistemi condivisi per il calcolo, l'accredito e la negoziazione degli attributi ambientali di SAF possono facilitare l'acquisto "prenota e dichiara" di SAF che disaccoppia l'ubicazione fisica del combustibile e il vantaggio ambientale al fine di facilitare e promuovere un uso più efficiente e più ampio dei volumi SAF e le loro riduzioni delle emissioni di gas serra.
	8.3 - Sostenere le iniziative delle parti interessate SAF	I gruppi di consultazione delle parti interessate possono assumere molte forme ed essere guidati dal governo, dall'industria o dalle ONG. Questi gruppi svolgono una funzione fondamentale di allineamento delle diverse parti interessate che compongono la catena di approvvigionamento SAF. Possono coordinare direttamente le azioni e fornire informazioni critiche e feedback ai responsabili politici.



## Sezione 2: studio e proposte di strumenti di policy per il mercato SAF

Il contesto normativo europeo, analizzato in precedenza è strutturato nell'ottica di un'integrazione e una trasposizione con le decisioni di policy dagli stati membri. Effettuando un'analisi approfondita del quadro normativo europeo, si evince come il regolatore si concentri sulla definizione degli obiettivi dell'industria SAF e su strumenti, come gli ETS<sup>249</sup>, volti a far assimilare in logiche di mercato l'introduzione dei SAF. Tali misure interessano esclusivamente il segmento a valle della filiera produttiva SAF, ciò non consente di superare totalmente le frizioni di mercato che interessano le fasi a monte della value chain SAF. La misura di maggior impatto è sicuramente il regolamento ReFuelEu aviation, con il quale vengono imposti dei limiti minimi di miscelazione che sanciscono l'esigenza di una produzione di SAF. Attraverso questa azione verrà stimolato l'intero indotto produttivo, il quale dovrà riorganizzarsi al fine di poter soddisfare i vincoli imposti nella maniera più efficiente possibile. In tale contesto, uno degli obiettivi centrali del regolatore europeo è garantire condizioni di parità per il trasporto aereo sostenibile<sup>250</sup>. Per evitare distorsioni del mercato, i mandati SAF sono stati gestiti dal regolatore transnazionale stesso e non dai singoli stati membri, in modo che tutte le compagnie operanti in Europa siano sottoposte alle stesse condizioni.

Questa analisi rileva, quindi, la presenza di azioni da parte del regolatore europeo nei segmenti del mercato SAF di interfaccia con il settore dell'aviazione e in ambiti che interessano in maniera diretta l'aviazione, mentre la supply chain dei carburanti sostenibili non viene toccata nelle fasi a monte dalle misure predisposte. Ciò è riconducibile ad un approccio di complementarità tra il regolatore sovranazionale e il regolatore nazionale<sup>251</sup>, i cui ambiti di competenza sono definiti a seconda delle caratteristiche del mercato e dell'intervento opportuno. Il mercato dell'aviazione risulta altamente integrato e operante in una dimensione di rete in tutta l'UE e al di fuori di essa. La dimensione transfrontaliera è intrinseca al trasporto aereo e ciò fa sì che qualsiasi quadro normativo frammentato costituisca un ostacolo significativo per gli operatori economici del trasporto aereo. L'obiettivo del regolamento proposto è quello di ripristinare condizioni di parità nel mercato del trasporto aereo, ma i diversi livelli di obblighi in capo ai singoli Stati membri potrebbero produrre l'effetto opposto e falsare ulteriormente il mercato dell'aviazione, incoraggiando pratiche negative da parte degli operatori aerei come il "tankering"<sup>252</sup>. La supply chain dei SAF risulta, invece, strettamente legata al contesto nazionale, in termini di disponibilità di materie prime e input, presenza di tecnologie

---

<sup>249</sup> European Commission. "The EU Emissions Trading System (EU ETS)"

<sup>251</sup> ARERA: Quadro strategico 2022-2025 dell'autorità di regolazione per energia reti e ambiente

<sup>252</sup> Laurent Tabernier & Robin Deransy (EUROCONTROL), and Dan Rutherford (ICCT); Economic Fuel Tankering: A Threat to Aviation decarbonisation

complementari e know how, presenza di impianti convertibili e rapporti internazionali dello stato. Si riscontra, quindi, che l'industria produttiva dei SAF si interfaccia nei segmenti a monte con un mercato sensibilmente nazionale, caratterizzato dalle risorse offerte dal singolo paese, mentre nel segmento a valle con il mercato dell'aviazione la cui natura è internazionale<sup>253</sup>. Ciò conduce ad una naturale divisione dei compiti tra regolatore nazionale ed europeo nel contesto di una continua collaborazione volta a decarbonizzare il settore dell'aviazione attraverso l'utilizzo dei SAF. Il regolatore nazionale ha, quindi, il compito di strutturare un contesto di supporto all'industria produttiva SAF garantendo la disponibilità di input, attraverso misure incentivanti e schemi di prioritizzazione, e sostegno alla realizzazione di nuovi impianti sul territorio nazionale con misure ad hoc in modo da risolvere le frizioni relative all'incertezza tecnologica e al rischio di investimento.

L'Europa e, con essa, i singoli stati membri, sembra in grado di conseguire gli obiettivi prefissati nel breve-medio termine realizzando una capacità produttiva di SAF in grado di soddisfare gli obblighi di miscelazione<sup>254</sup>. Tuttavia, si prevede, sul lungo termine, il materializzarsi di un'incapacità del sistema produttivo europeo nel soddisfare la domanda, anche a causa degli effetti che la crescita dei volumi produttivi stessa avrà sul mercato e sui prezzi delle materie prime. Questo ragionamento risulta trasferibile anche al contesto nazionale italiano; caratterizzato dalla presenza di Eni, unico grande produttore nazionale, che presenta una capacità produttiva programmata di 1.51miliardi di litri/anno garantita dagli impianti di Taranto, Gela, Livorno e Venezia<sup>255</sup>. Eni risulta capace di soddisfare la domanda di SAF nel breve periodo e si sta già muovendo per affrontare la sfida legata ai volumi necessari nel lungo periodo attraverso l'approccio integrato analizzato in precedenza<sup>256</sup> che fonda sull'iniziativa degli agri-hub<sup>257</sup> in Africa. Da quanto, appare evidente come un aspetto critico sia la disponibilità di feedstock, che in questo contesto viene risolto con l'offshoring, ma che per offrire una maggiore stabilità al mercato necessiterebbe di essere affrontato a livello nazionale attraverso un piano di prioritizzazione dei feedstock e una struttura di incentivi volta a massimizzare la disponibilità di input sul territorio nazionale in modo da rendere il proprio paese un'opzione attraente per i grandi produttori di carburanti. Un ulteriore aspetto focale in cui è centrale l'intervento del regolatore nazionale è quello relativo agli investimenti in nuovi impianti produttivi. Questa tematica deve essere affrontata da due punti di vista, il primo concerne l'attenuazione del rischio,

---

<sup>253</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT<sup>5117</sup>Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport; Brussels, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final

<sup>254</sup> Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)

<sup>255</sup> Sito ENI (<https://www.eni.com/it-IT/mobilita-sostenibile/biocarburanti-oli-vegetali.html>)

<sup>256</sup> ENI fact book 2022

<sup>257</sup> ENI, World energy review 2023

attualmente molto elevato a causa dell'incertezza tecnologica e della dipendenza dal mercato degli input; il secondo riguarda la concorrenza con altri segmenti del settore dei trasporti per gli output delle bioraffinerie. Questo secondo aspetto dovrebbe essere gestito in modo da dare priorità a quelle modalità di trasporto, come l'aviazione, che presentano, come unica opportunità per la decarbonizzazione, i carburanti sostenibili e non hanno altre alternative valide. Uno dei principali concorrenti è il trasporto su ruota che attraverso la domanda di biodiesel sottrae capacità produttiva ai SAF, ciò potrebbe essere risolto con un intervento del regolatore nazionale.

Riassumendo, l'operato del regolatore europeo ha generato, attraverso i mandati SAF e l'introduzione dell'aviazione nel sistema EU ETS, una forte spinta alla crescita dell'industria produttiva di SAF, che si materializzerà in un aumento della capacità produttiva, con l'ausilio del regolatore nazionale, che dovrà agire nell'ottica di realizzare nel proprio territorio un ambiente favorevole alla produzione di SAF, sia dal punto di vista di disponibilità di input produttivi, come feedstock, energie rinnovabili, know how e tecnologie complementari, sia dal punto di vista normativo attenuando i rischi dell'investimento e prioritizzando la scelta di produrre SAF.

## OBIETTIVI NORMATIVI DEL REGOLATORE NAZIONALE

Fissati chiari obiettivi in ambito sovranazionale ora tocca al regolatore nazionale strutturare un quadro normativo che permetta alla propria nazione di rispondere in maniera brillante alle esigenze delineate. Il quadro delle esigenze è stato realizzato a partire dall'analisi dei pareri degli stakeholder raccolti dalla Commissione Europea nell'ambito della Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alla parità di condizioni per il trasporto aereo sostenibile<sup>258</sup>.

I principali ostacoli da affrontare sono:

- Disponibilità materie prime e input produttivi;
- Rischi di dipendenza energetica;
- Rischi di investimento che generano eccessivi costi del capitale dai quali può derivare una paralisi della crescita produttiva;
- Differenza di prezzo dei SAF rispetto al carburante tradizionale per l'aviazione;
- Concorrenza con industrie di biocarburanti dedicate ad altri segmenti del settore dei trasporti.

---

<sup>258</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport; Brussels, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final

## MISURE VOLTE A GARANTIRE UN CONTESTO FAVOREVOLE ALLO SVILUPPO DELL'INDUSTRIA SAF

L'ostacolo relativo alla disponibilità di materie prime ed input può essere affrontato a diversi livelli. L'obiettivo dei singoli stati è duplice: da una parte si mira a stimolare l'indotto sul territorio nazionale, massimizzando lo sfruttamento delle risorse offerte in termini di feedstock, input e tecnologie; dall'altra si vuole minimizzare il rischio di dipendenza dalla fluttuazione di un singolo mercato di una materia prima e ciò può essere realizzato attraverso una diversificazione di materie prime utilizzate e quindi di percorsi<sup>259</sup>. Azioni che possono essere esperite in questo ambito sono:

- Redigere piani nazionali in ambito agricolo ed energetico volti a offrire delle linee guida che indirizzino gli sforzi dei soggetti operanti in questi settori a supporto della filiera SAF.
- Massimizzare lo sfruttamento del proprio territorio: misure volte a raggiungere economie di scala per le energie rinnovabili, piani legati alla circolarità<sup>260</sup>.
- Assicurare le colture SAF: Il Programma di sviluppo rurale nazionale (PSRN 2014-2020) dà la possibilità agli agricoltori di usufruire di polizze assicurative agevolate, con un contributo pubblico fino al 70% del costo dei premi assicurativi, per coprire i danni alle colture causate da avversità atmosferiche, malattie delle piante o degli animali, tale programma potrebbe essere aggiornato introducendo un trattamento incentivante dedicato alle colture finalizzate alla produzione di SAF.

---

<sup>259</sup> Documentazione per le Commissioni RIUNIONI INTERPARLAMENTARI: Riunione interparlamentare "Raggiungere gli obiettivi del settore dei trasporti del *Fit for 55* a livello nazionale – opportunità e sfide" *Bruxelles, 25 maggio 2023*

<sup>260</sup> Ministero della transizione ecologica; STRATEGIA NAZIONALE PER L'ECONOMIA CIRCOLARE

- **Prioritizzazione:** limitare la domanda di industrie concorrenti. Poiché la disponibilità di risorse di biomassa sostenibile è limitata, le politiche dovrebbero incentivare l'uso prioritario della biomassa per settori come l'aviazione che hanno poche altre alternative per la decarbonizzare (vedi figura 43). Al fine di accelerare l'aumento della produzione di carburante per bio-jet, i volumi di produzione di etanolo che attualmente riforniscono il settore del trasporto su strada potrebbero essere reindirizzati al settore dell'aviazione. L'elettrificazione delle auto molto probabilmente libererà alcuni volumi di etanolo che possono essere trasformati in carburante bio-jet attraverso il processo alcohol-to-jet. Inoltre, gli impianti HEFA (esteri idroprocessati e acidi grassi) potrebbero ridurre la loro produzione di diesel a favore del carburante per aerei. Entrambe le misure combinate potrebbero sbloccare un'offerta SAF aggiuntiva di 14-22 Mt entro il 2030, circa il 25%-50% della domanda SAF in quell'anno<sup>261</sup>.
- **Politica internazionale:** instaurare rapporti e collaborazioni con paesi esteri al fine di ampliare la fornitura. Tale misura è esperita in simbiosi con il regolatore europeo. Infatti, all'interno dell'UE Horizon 2020<sup>262</sup>, l'Italia è il Paese coordinatore dei progetti BECOOL, BioVALUE, FREE e BIOSURF.

Ad esempio, nel contesto della cooperazione Brasile-UE per lo sviluppo di biocarburanti lignocellulosici avanzati l'Italia svolge un ruolo centrale essendo coordinatore e referente dei progetti BECOOL e BioVALUE<sup>263</sup>.

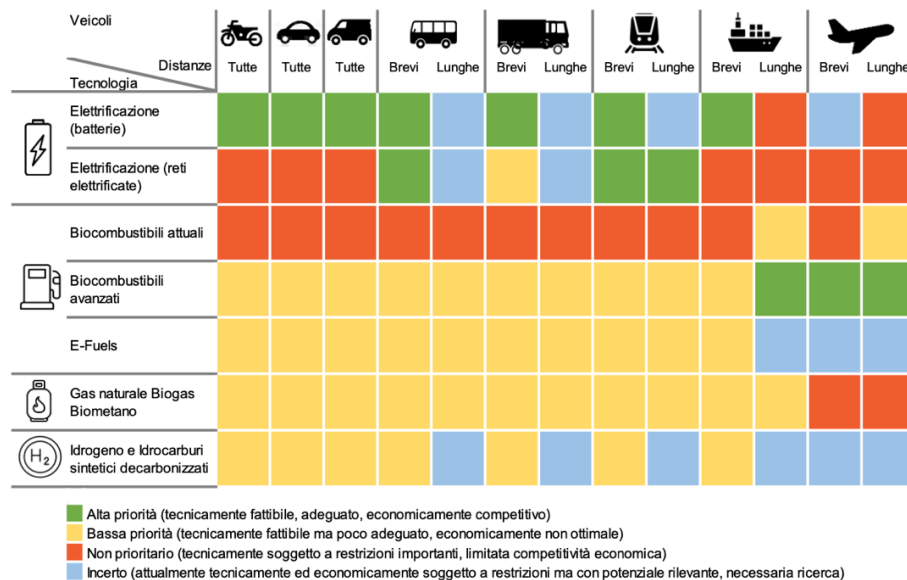


Figura 42- Opportunità di decarbonizzazione per il settore dei trasporti; Fonte: MIMS; Decarbonizzare i trasporti Evidenze scientifiche e proposte di policy

<sup>261</sup> MIMS; Decarbonizzare i trasporti Evidenze scientifiche e proposte di policy; Aprile 2022

<sup>262</sup> APRE; HORIZON EUROPE – LA GUIDA

<sup>263</sup> ENCA; ITALY'S ACTION PLAN ON CO2 EMISSIONS REDUCTION

L'obiettivo principale dei progetti BECOOL (UE) e BioVALUE (Brasile) è di rafforzare la cooperazione UE-Brasile sui biocarburanti lignocellulosici avanzati. L'allineamento delle informazioni, la sincronizzazione delle conoscenze e le attività sinergiche sulla logistica di produzione della biomassa lignocellulosica e sulle tecnologie di conversione sono obiettivi chiave di entrambi i progetti e porteranno vantaggi reciproci. Entrambi i progetti sono strutturati attorno a tre pilastri principali che coprono in modo equilibrato l'intera gamma di attività della catena del valore dei biocarburanti (produzione di biomassa, logistica, conversione e utilizzo). Il consorzio BECOOL è composto da 14 partner provenienti da università, istituti di ricerca, grandi industrie/PMI provenienti da 7 paesi dell'UE. Insieme al miglioramento della logistica, l'istituzione degli innovativi sistemi di coltivazione di BECOOL consentirà di aumentare la disponibilità di materie prime per la biomassa di almeno il 50% senza incidere negativamente sulla produzione alimentare, sulla qualità del suolo e sull'uso tradizionale del territorio. I miglioramenti nell'efficienza del processo di gassificazione delle nuove materie prime consentiranno di ottenere una qualità ottimale del gas da fonti non convenzionali (ad esempio colture e residui lignocellulosici). L'uso di vettori energetici nella gassificazione supererà un'importante barriera logistica per le materie prime a bassa densità energetica, mentre la valorizzazione dei residui ricchi di lignina migliorerà notevolmente l'efficienza energetica dell'intera catena del valore. Le scoperte tecnologiche nelle fasi di pretrattamento, idrolisi, saccarificazione enzimatica e fermentazione aumenteranno la competitività dell'etanolo biochimico avanzato. Il benchmarking di modelli trasversali tra UE e Brasile ridurrà gli attuali limiti sui modelli di crescita, logistica e processi accademici, rendendoli più affidabili e aprendo opportunità commerciali, nuovi posti di lavoro, riduzione della pressione fondiaria e maggiori benefici ambientali nell'UE e in Brasile.

### **Strumenti di supporto alla crescita dell'offerta**

Strumenti di supporto alla crescita dell'offerta delle energie rinnovabili e dei feedstock, centrali rispettivamente nella produzione di carburanti sintetici e biocarburanti, sono i crediti d'imposta, gli sgravi fiscali, i contratti per differenza.

Sottolineiamo l'importanza di ampliare il pacchetto di opzioni tecnologiche che consentono la produzione di SAF, tale evoluzione consentirebbe di mitigare la dipendenza dell'industria produttiva nazionale dai diversi fornitori di materie prime, che saranno in gran parte extra-ue, attraverso la diversificazione di input necessari. È necessario istituire meccanismi di protezione per evitare il rischio che i mercati a monte diventino anelastici e inefficienti, il che potrebbe consentire prezzi inefficienti ed eccessivi. Una configurazione auspicabile è quella di generare concorrenza tra le

diverse materie prime in modo da garantire ai produttori di SAF maggiore potere contrattuale verso i fornitori. Le funzioni assunte da uno Stato possono essere quelle di:

- Supportare lo sviluppo di nuovi processi produttivi SAF, ciò può essere fatto attraverso la realizzazione di centri di ricerca pubblici, incubatori tecnologici, sovvenzioni pubbliche alla ricerca e sviluppo, coinvestimenti pubblici privati nell'ambito della ricerca e sviluppo<sup>264</sup>.

Ad oggi, lo Stato italiano predispone diverse misure di supporto alla ricerca e allo sviluppo. Le imprese potranno accedere alle agevolazioni e ai contributi previsti dallo Stato a seguito dell'accettazione della domanda di agevolazione la quale viene sottoposta ad una valutazione istruttoria. Se la valutazione istruttoria si conclude con esito positivo si può procedere alla definizione dell'accordo. Sarebbe interessante che in questa valutazione oltre a parametri tecnici, economici e finanziari, venissero introdotti parametri legati alla sostenibilità. Le agevolazioni previste possono essere concesse nella forma del contributo diretto alla spesa e, eventualmente, del finanziamento agevolato a valere sulle risorse messe a disposizione dalle amministrazioni sottoscrittrici dell'Accordo per l'innovazione. Nel caso in cui il progetto sia realizzato in collaborazione tra almeno una impresa e uno o più Organismi di ricerca, il Ministero riconosce a ciascuno dei soggetti proponenti una maggiorazione del contributo diretto fino al 10% per le piccole e medie imprese e gli Organismi di ricerca e fino al 5% per le grandi imprese<sup>265</sup>.

Gli incubatori tecnologici hanno lo scopo di accelerare la crescita e il successo di iniziative imprenditoriali mediante un insieme strutturato di risorse e servizi. Gli incubatori possono assistere gli sviluppatori di una tecnologia coprendo i costi operativi, fornendo assistenza nello sviluppo dell'impresa, nell'approvvigionamento del capitale necessario, nella definizione dei team di gestione del progetto e mettendo a disposizione dettagliate ricerche di mercato.

- Supportare le aziende nell'iter di certificazione e lavorare alla semplificazione di tale iter: la certificazione dei nuovi percorsi di produzione SAF viene eseguita da ASTM International<sup>232</sup> o DefStan<sup>233</sup> ed è un processo lungo e rigoroso che coinvolge significative risorse sia da un punto di vista finanziario che di logistica. Negli Stati Uniti, la FAA ha istituito una "Clearing House"<sup>266</sup> dedicata che supporta i produttori di carburante nell'iter di ottenimento dell'approvazione ASTM per il loro processo. Il sostegno potrebbe essere fornito anche ai

---

<sup>264</sup> IRES 2011; Gli schemi di incentivazione alle fonti rinnovabili

<sup>265</sup> Ministero dello sviluppo economico; Decreto 25/02/2022

<sup>266</sup> ICAO; SAF production technologies and certification

produttori di SAF nell'UE in modo simile. L'UE potrebbe decidere di istituire una propria stanza di compensazione europea, replicando l'impegno degli Stati Uniti. In alternativa, l'Europa potrebbe impegnarsi in una maggiore cooperazione con l'attuale Clearing House statunitense e, ad esempio, nella nomina di un rappresentante dell'UE. Il rappresentante dell'UE fungerebbe da punto di contatto e fornirebbe sostegno ai produttori di SAF dell'UE<sup>267</sup>.

Nel contesto del disegno strategico, che mira alla diversificazione dei processi, finalizzata a mitigare l'esposizione agli andamenti dei mercati dei singoli feedstock, non vi sono solo azioni dedicate a supportare la ricerca e facilitare la certificazione in quanto sono numerose le nuove tecnologie certificate che però non trovano applicazione commerciale. Tale blocco è dovuto all'elevato rischio associato a progetti first of kind che genera elevati rischi di investimento e difficoltà nel reperire adeguati capitali, ciò genera un ostacolo all'evoluzione dell'industria produttiva SAF. È, quindi, auspicabile l'intervento del regolatore nazionale volto a bypassare la dinamica di blocco sopradescritta.

Il regolatore nazionale può agire con l'impiego dei seguenti strumenti:

- Sovvenzioni, contributi, sussidi, vantaggi economici possono assumere differenti forme quali: trasferimenti di disponibilità liquide o mezzi equivalenti all'impresa; trasferimenti di attività non monetarie all'impresa; riduzione di passività dovute al Governo; remissione di prestiti da parte del Governo; contratti di sviluppo; finanziamenti (ad esempio contributi a fondo perduto); agevolazioni o esenzioni fiscali.
- Garanzia prestiti: Il Fondo di Garanzia<sup>268</sup> è uno strumento dello Stato italiano e dell'Unione Europea istituito al fine di agevolare l'accesso al credito alle imprese. Tale misura prevede che lo Stato garantisce il finanziamento che le Banche (o altri intermediari finanziari abilitati) erogano alle imprese. Il Fondo di Garanzia va a sostituire le garanzie (spesso costose) che la Banca richiede per erogare un finanziamento. In questo modo gli intermediari finanziari hanno rischi ridotti (se non nulli) e le imprese hanno un canale preferenziale per ottenere il finanziamento. La garanzia è rilasciata sotto forma di fideiussione. Sarebbe quindi interessante comprendere in questo meccanismo anche gli investimenti per impianti SAF.

---

<sup>267</sup> Element Energy Sheffield University; Sustainable Aviation Fuel 'Facilitation Initiative'; GRANT AGREEMENT EASA.2015.FC21

<sup>268</sup> Legge n. 662/96 (art. 2, comma 100, lettera a)



- Co-investimenti pubblico-privato in progetti dimostrativi<sup>269</sup>: secondo questo schema lo Stato dovrebbe farsi carico di una parte dei costi e la proprietà dell'opera resta in capo ai privati con i quali saranno, però, pattuiti degli obiettivi prestazionali. L'intervento diretto del pubblico risolve le problematiche legate ad un'elevata esposizione al rischio e alla raccolta di capitali.
- Prestiti green<sup>270</sup>: i prestiti green sono strumenti di credito che nascono per promuovere e finanziare le attività e i progetti che mirano a ridurre l'impatto energetico sull'ambiente. I prestiti green sono caratterizzati dall'assegnazione di un profilo di rischio fra i più bassi; questo comporta come conseguenza immediata la riduzione dei tassi di interesse praticati rispetto agli altri prodotti affini. Per poter usufruire dei tassi speciali studiati per le esigenze green sarà necessario presentare un'analisi dettagliata del progetto in modo da confermare i criteri di valutazione del prestito con la richiesta inoltrata. Ad oggi i prestiti green trovano grande impiego nell'economia privata, sarebbe opportuno estendere questa misura con maggior rilevanza anche all'ambito industriale.
- Green bond<sup>271</sup>: sono un tipo di debito emesso da istituzioni pubbliche o private per finanziarsi e, a differenza di altri strumenti di credito, impegnano l'uso dei fondi ottenuti per un progetto ambientale o uno relativo al cambiamento climatico. Il meccanismo di funzionamento dei green bond, caratterizzato da un monitoring di parti terze sul rispetto dei requisiti ambientali pattuiti, genera una maggiore garanzia sull'impiego sostenibile dei fondi.

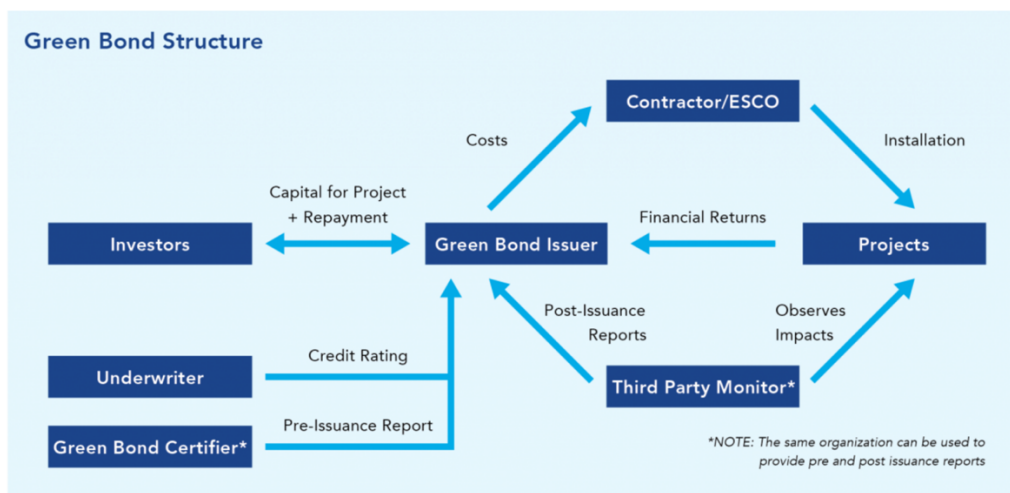


Figura 43-Green bond schema di funzionamento; Fonte: BETTER BUILDINGS

<sup>269</sup> Public-private partnerships value in bioenergy projects: Economic feasibility analysis based on two case studies Fantozzi F, Bartocci P, [...],Manos *BBiomass and Bioenergy* (2014) 66 387-397

<sup>270</sup> ICAO, Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF

<sup>271</sup> REGOLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sulle obbligazioni verdi europee e sull'informativa volontaria per le obbligazioni commercializzate come obbligazioni ecosostenibili e per le obbligazioni legate alla sostenibilità; Bruxelles, 11 ottobre 2023

- Banche di sviluppo e Fondi per l’attuazione degli accordi multilaterali ambientali: lo Stato può stilare accordi con istituzioni finanziarie internazionali per promuovere programmi e progetti di cooperazione nei paesi in via di sviluppo. Attraverso questi fondi è possibile coniugare innovazione, sostenibilità, competitività e rispetto per l’ambiente<sup>272</sup>.

L’Italia, ad esempio, collabora con Banca africana di sviluppo, Banca Interamericana di Sviluppo e la Banca Mondiale e si rivolge ai fondi per l’attuazione di Accordi Multilaterali Ambientali: Adaptation Fund (AF), Green Climate Fund (GCF), Fondo Multilaterale per l’Attuazione del Protocollo di Montreal.

### **Misure nazionali per stimolare la crescita della capacità produttiva saf**

Come analizzato nella sezione precedente del documento, il mercato SAF sembra poter raggiungere una configurazione d’equilibrio attraverso la realizzazione di una rete strategica che coinvolge tutti gli attori della value chain tra cui il governo. Nella configurazione di equilibrio individuata, il governo, conscio della crescita economica e dello sviluppo che l’industria SAF può portare al paese, lavora per realizzare un assetto normativo finalizzato ad attirare nel proprio territorio grandi produttori. La necessaria crescita dei volumi produttivi delle industrie SAF, sancita dall’operato del regolatore europeo, viene recepita dalle istituzioni come un’opportunità di crescita e sviluppo per il paese. Misure attuative di questa strategia, volte a sostenere la realizzazione di nuovi impianti produttivi e al sostegno dell’attività dei produttori, sono le seguenti:

- Crediti d’imposta<sup>273</sup>
- Tecniche di ammortamento incentivanti: il superammortamento<sup>274</sup>
- Contratti per differenza<sup>275</sup>
- Carbon contracts for difference<sup>276</sup>

Effettuiamo, quindi, un’analisi approfondita delle misure di maggiore interesse.

---

<sup>272</sup> MASE; Banche di sviluppo e Fondi per l’attuazione degli accordi multilaterali ambientali;

(<https://www.mase.gov.it/pagina/banche-di-sviluppo-e-fondi-l-attuazione-degli-accordi-multilaterali-ambientali>)

<sup>273</sup> Batchelder L, Goldberg F, Orszag P ;Efficiency and Tax Incentives : The Case for Refundable Tax Credits (2006)

<sup>274</sup> Ministero della transizione ecologica; STRATEGIA NAZIONALE PER L’ECONOMIA CIRCOLARE

<sup>275</sup> Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C. (2022) : Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, DIW Weekly Report, ISSN 2568-7697, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12.

<sup>276</sup> Timo Gerres, Pedro Linares; Carbon Contracts for Differences (CCfDs) in a European context;REPORT, JUNE 2022

## Crediti d'imposta

Il credito d'imposta<sup>277</sup> è una misura agevolativa che consente alle imprese di ridurre l'imposta da pagare sui propri utili netti mediante la fruizione di un credito di pari importo, che, nel caso di specie, sarà proporzionale alla quota di SAF prodotta o alla riduzione di emissioni propiziata. Tale misura trova attuazione nel quadro normativo americano nell'ambito dell'*Inflation Reduction Act*<sup>278</sup> con il nome di SAF Credit. Il governo americano prevede l'assegnazione di un credito d'imposta di valore pari al prodotto di un coefficiente, che tiene conto del livello di sostenibilità del carburante prodotto, per il volume di SAF prodotto. Il coefficiente citato è costituito da una quota fissa, che interessa tutti i carburanti conformi ai parametri definiti ed una quota variabile funzione della lifecycle greenhouse gas emissions reduction percentage. La normativa americana in particolare, prevede che i produttori di SAF hanno diritto a un credito d'imposta di 1,25 dollari per gallone. Il SAF qualificato deve ridurre le emissioni di gas a effetto serra (GHG) del 50%. Il SAF che riduce le emissioni di gas serra di oltre il 50% ha diritto a ulteriori 0,01 dollari per gallone per ogni percentuale la riduzione supera il 50%, fino a 0,50 dollari per gallone. Per essere idonei, i produttori SAF devono essere registrati presso l'*Internal Revenue Service (IRS)* e sono sottoposti a stringenti vincoli informativi e di trasparenza. Le modalità con le quali i produttori di SAF potranno avvalersi di questa agevolazione sono o la richiesta di rimborso accisa o l'erogazione di un credito aziendale non rimborsabile.

Tale misura risulta di particolare interesse in quanto offre un sostegno tangibile all'industria produttiva SAF andando ad alleggerire la mole dei costi che interessano i produttori. Il sostegno statale esperito dal governo nazionale garantisce la copertura di gran parte degli extracosti della produzione SAF stimolando l'output nazionale e rendendo il business più attraente.

Un aspetto di grande interesse sarebbe l'attuazione di tale misura in maniera asimmetrica al mercato dei biocarburanti, favorendo la produzione di biocarburanti per l'aviazione rispetto a quella dedicata a settori che dispongono di diverse opzioni per la decarbonizzazione, come ad esempio il trasporto su gomma. Ad oggi gran parte delle capacità produttive delle bioraffinerie presenti sul territorio italiano vengono dedicate alla produzione di biodiesel per il trasporto stradale a scapito della produzione di SAF che risulta l'unica alternativa attuabile nel breve termine per il settore dell'aviazione. La scelta di produrre biodiesel è dettata da una marcata differenza in termini di efficienza dei processi produttivi che pone i SAF in una condizione di svantaggio. Una conversione della capacità produttiva

---

<sup>277</sup> Batchelder L, Goldberg F, Orszag P ;*Efficiency and Tax Incentives : The Case for Refundable Tax Credits (2006)*

<sup>278</sup> The White House; *Building a clean energy economy: a guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action*; january 2023, version 2

alla produzione di SAF consentirebbe il soddisfacimento della domanda SAF nel breve-medio periodo, ponendo la nazione in un ruolo trainante del mercato europeo. La prioritizzazione della destinazione d'uso delle bioraffinerie a favore dei SAF può essere, infatti, realizzata attraverso l'introduzione del credito d'imposta per la sola produzione SAF. Il contributo dello Stato, espresso come riduzione dell'imposta da pagare, consentirebbe di efficientare il business rendendo razionale la scelta di investimento del produttore. È quindi necessario che la misura di questo contributo sia tale da sovracompensare il gap di inefficienza produttivo che ad oggi caratterizza i SAF rispetto agli altri biocarburanti. I crediti d'imposta risultano un valido strumento da tenere in considerazione all'interno di un piano per la decarbonizzazione dei trasporti in quanto consentono di indirizzare risorse oggetto di concorrenza intersettoriale al settore che sfrutterebbe quella risorsa nel modo più efficiente dal punto di vista ambientale e non per forza dal punto di vista economico, favorendo il raggiungimento dell'obiettivo climatico.

I crediti d'imposta possono potenzialmente svolgere un ruolo anche a livello internazionale. Abbiamo in precedenza parlato delle dinamiche che portano gli Stati a guardare lo sviluppo dell'industria produttiva SAF come un'opportunità di crescita e sviluppo per il territorio. Sulla base di ciò è auspicabile l'impegno della nazione a realizzare un assetto normativo che attragga i grandi produttori di carburanti sul proprio territorio in modo da innescare efficienti reti interaziendali e favorire la crescita economica. Il contributo dello stato attraverso i crediti d'imposta potrebbe indirizzare la scelta di localizzazione dell'impianto produttivo delle grandi aziende di carburanti. Alla base di questo ragionamento vi è la consapevolezza della crescita della capacità produttiva europea garantita dai mandati SAF esperiti dall'Unione Europea, sottolineando la complementarità e l'integrazione tra i due sistemi normativi.

Concentrandosi sulle modalità di definizione del valore del credito destinato ai produttori SAF è opportuno constatare come sia possibile intervenire in quest'ambito per generare degli incentivi volti ad indirizzare l'operato dei produttori. Le variabili che possono essere introdotte nel calcolo del valore del credito di imposta possono riferirsi ai volumi di SAF prodotti e alla sostenibilità. Garantire un valore unitario costante per gallone di SAF prodotto, indipendente dal volume prodotto, genera un incentivo a sviluppare scala. Per le dinamiche delle economie di scala i costi unitari al crescere dei volumi si riducono ma non si riduce il contributo unitario dello Stato, ciò significa che il contributo coprirà una percentuale maggiore dei costi sostenuti rendendo l'azienda produttrice ancor più competitiva. Attraverso la definizione dello schema di agevolazione il regolatore può dare o meno maggior enfasi alla crescita dei volumi produttivi. Altro aspetto che può essere stimolato con un appropriato schema contributivo elargito attraverso i crediti d'imposta è l'impatto ambientale. La

formula americana, ad esempio, prevede un credito supplementare di un centesimo per ogni punto percentuale di riduzione delle emissioni al di sopra del 50%. Un meccanismo del genere consente che vi sia sempre grande attenzione alla sostenibilità. Il rischio, in assenza di politiche che vanno a stimolare le prestazioni ambientali di un prodotto, è che la totalità degli investimenti di ricerca e sviluppo vengano indirizzati al miglioramento dell'efficienza bloccando l'evoluzione tecnologica finalizzata alle riduzioni di emissioni. Un aspetto rilevante dei crediti d'imposta risiede, quindi, nella capacità di stimolare la ricerca di migliori performance aziendali in termini di sostenibilità. Il principio che si cela dietro questo meccanismo è la materializzazione del beneficio ambientale nonché la sua internalizzazione nel business. I crediti d'imposta consentono di tradurre attraverso un'equazione lineare il beneficio ambientale in un risultato economico per l'azienda produttrice. Tale conversione avviene passando, o meglio non passando, per le casse dello Stato. La sostenibilità economica di questa manovra, dal punto di vista della Nazione, può essere raggiunta attraverso i benefici economici e sociali che lo sviluppo dell'industria SAF genererebbe sul territorio andando a compensare i mancati incassi erariali.

## **Il superammortamento**

L'agevolazione del “super ammortamento”<sup>279</sup> consiste nella possibilità di aumentare di una certa percentuale, ai fini delle imposte sui redditi, il costo di acquisizione dei beni materiali strumentali nuovi, con esclusivo riferimento alla determinazione delle quote di ammortamento e dei canoni di leasing.

Tale misura fiscale, a differenza del credito d'imposta che andava a stimolare la produzione, va a stimolare gli investimenti in beni strumentali all'industria che il regolatore vuole incentivare. L'industria SAF, per la sua crescita, presenta la necessità di importanti investimenti sia per la costruzione di nuovi impianti, sia per la conversione di attuali raffinerie o bioraffinerie in capacità produttiva per i SAF. Ciò che la misura garantirebbe è la supervalutazione dal punto di vista fiscale per gli investimenti in tecnologie abilitanti per la produzione di SAF, materializzando un contributo da parte dello Stato nell'esercizio dell'attività d'impresa. Il superammortamento genererebbe diversi stimoli alla crescita dell'industria SAF, sia diretti che indiretti.

In primis la supervalutazione degli asset rileva come un contributo diretto all'economia del business, generando una riduzione dell'imponibile fiscale pluriennale. La riduzione di uscite che ne deriva offre un incentivo all'investimento, il quale durante la sua vita utile garantirà una riduzione delle uscite

---

<sup>279</sup> Ministero della transizione ecologica; STRATEGIA NAZIONALE PER L'ECONOMIA CIRCOLARE

alleggerendo la pressione sul business. Questa misura può inoltre consentire una riduzione del costo del capitale dovuta ad una riduzione della percezione del rischio. L'intervento del regolatore nazionale impatta sul rischio percepito in maniera duplice: modificando la struttura dei costi dell'attività produttiva e quindi agevolando la redditività del business, e manifestando la propria fiducia verso il mercato oggetto di interesse che riverbererà nelle valutazioni degli investitori. I mercati sottoposti all'intervento del regolatore presentano un'attenuazione del rischio percepito.

Sinora abbiamo ragionato in termini assoluti, ovvero valutando gli effetti del superammortamento sulla sola industria SAF escludendola dal contesto economico e dalla scelta di investimento, ora valutiamo gli effetti relativi che questa misura genera. Un impatto importante della misura potrebbe riguardare le decisioni di investimento di coloro che già producono di biocarburanti indirizzando la decisione verso la produzione dedicata all'aviazione. L'effetto di tale misura sarebbe quello di rivalutare l'opzione produttiva SAF rispetto alla produzione, ad esempio, di biocarburanti dedicati al trasporto su gomma. Attualmente la valutazione tra produrre SAF e produrre biodiesel risulta chiaramente favorevole alla seconda opzione per aspetti legati alla maggiore efficienza e quindi alla maggiore redditività del business. In questa valutazione però non si tiene conto del beneficio ambientale, il biodiesel non risulta essere l'unica soluzione per la decarbonizzazione del trasporto su gomma e neanche la più efficace in termini di abbattimento, mentre il SAF è l'unica opzione per la riduzione delle emissioni nel settore dell'aviazione nel breve medio periodo. Va, inoltre, considerato che per la capacità produttiva esistente la scelta tra le due produzioni risulta come esclusiva. L'inefficienza ambientale dei biocarburanti, non dedicati al settore dell'aviazione, infatti, può essere valutata come duplice, in quanto, da una parte, sottrae capacità produttiva all'industria SAF, obbligando all'utilizzo di carburanti tradizionali, e, dall'altra, rallenta la transizione all'elettrico del settore automotive. Introdurre un'agevolazione fiscale per la sola produzione di SAF consentirebbe di ridimensionare il confronto tra le diverse opzioni, favorendo la produzione dei carburanti sostenibili per l'aviazione. In questa analisi il superammortamento può essere visto come uno strumento finalizzato a indirizzare gli investimenti, incorporando nelle decisioni strategiche dei produttori la necessità sociale di una data produzione. Nell'ottica di una roadmap nazionale per la decarbonizzazione del settore dei trasporti la misura discussa può essere utilizzata come strumento di prioritizzazione degli input e della capacità produttiva verso l'aviazione che dispone di minori opportunità e necessita di una tutela dal punto di vista normativo.

## Contratti per differenza

Esistono vari tipi di accordi contrattuali che rientrano nell'ampia definizione di contratti bilaterali, fra questi vi sono i contratti per differenza (CfD). I contratti per differenza<sup>280</sup> (CfD) sono contratti bilaterali di diritto privato tra un fornitore e un governo, finalizzati a fornire una quantità specifica di SAF a un prezzo fisso, denominato prezzo di esercizio. Si tratta, quindi, di contratti volti a incentivare progetti a lungo termine e ad alta intensità di capitale avendo concordato un prezzo fisso di un prodotto durante un determinato periodo. I CfD sono generalmente indicizzati ad un prezzo di riferimento, spesso è il prezzo di mercato. In alcuni casi, i CfD possono essere contratti a senso unico, quando i pagamenti della differenza vengono effettuati solo da una delle parti.

I CfD sono stati già utilizzati con successo in altri settori come i parchi eolici offshore. Ma analizziamo il concetto di CfD per l'aviazione, l'applicazione di questa misura al mercato SAF consiste nell'aggiudicare ai fornitori di carburante un contratto per un periodo specifico e una serie di obblighi per fornire la capacità contrattuale entro questo lasso di tempo. In maniera più specifica distinguiamo una prima fase che consiste in un'asta CfD<sup>281</sup> in cui gli investitori fanno le loro offerte. Il governo seleziona tutte le offerte che forniscono un livello specifico di vantaggio e soddisfano i requisiti. Nella seconda fase si svolge una negoziazione bilaterale tra il governo e ciascuno degli investitori selezionati, in cui le parti negoziano un valore reciprocamente accettabile per il prezzo di esercizio. Il Contratto per differenze prevede pagamenti monetari tra le parti determinati sulla base della differenza tra il prezzo (di equilibrio) di mercato ed un prezzo indicato nel contratto e concordato tra le parti. Ad esempio, un produttore ed un consumatore potrebbero concludere un contratto per differenza in base al quale: se il prezzo di mercato è superiore al prezzo indicato nel contratto il produttore paga la differenza al consumatore, garantendo il prezzo pattuito, e se il prezzo di mercato è inferiore al prezzo indicato nel contratto il consumatore paga la differenza al produttore, in modo da garantire anche in questo caso che la transazione avvenga al prezzo indicato nel contratto, stabilizzando così il prezzo sia per i produttori che per i consumatori. Nel caso di specie le controparti saranno il Ministero ed un vettore e, attraverso tale schema, lo Stato supporterà la stabilità e la crescita

---

<sup>280</sup> Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C. (2022) : Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, DIW Weekly Report, ISSN 2568-7697, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12.

<sup>281</sup> Hugo Algarvio, Fernando Lopes, João Santana, Renewable Energy Support Policy based on Contracts for Difference and Bilateral Negotiation



Figura 44-Meccanismo contratti per differenza

In chiave pragmatica è opportuno riportare due esempi relativi al funzionamento del CfD nel mercato dell'energia elettrica. L'esperienza storica con progetti di energia rinnovabile, come la produzione di energia eolica e fotovoltaica, ha dimostrato che gli impianti di produzione costruiti in una fase iniziale non saranno competitivi a medio-lungo termine. Tra il 2010 e il 2020 il costo degli impianti fotovoltaici è diminuito dell'81%, quello dell'energia eolica di oltre il 30% (Agenzia internazionale per le energie rinnovabili, 2021). Tuttavia, tali strutture devono essere costruite al fine di ottenere effetti della curva di apprendimento a lungo termine. Tale dinamica è perfettamente riconducibile al mercato SAF che presenta attualmente una struttura dei costi che rende la tecnologia non competitiva da un punto di vista economico. Quindi, per risolvere, almeno in parte, la problematica relativa al divario di prezzo rispetto ai carburanti tradizionali è indispensabile avviare oggi la crescita della produzione, accettando l'inefficienza attuale, in modo da innescare dinamiche positive, come lo sviluppo di economie di scala ed effetti della curva di apprendimento, che permetteranno alla tecnologia SAF il raggiungimento di una maggiore competitività nel lungo periodo<sup>283</sup>.

La chiave di lettura di ogni contratto CfD da attuare al mercato SAF ha ad oggetto come parti del contratto, il Ministero ed un vettore, il cui accordo prevede di scambiare il differenziale di prezzo che interesserà il mercato dei SAF. Questo schema dovrebbe permettere di ridurre la volatilità dei prezzi del carburante sostenibile, assicurando al vettore aereo il pagamento di un prezzo predefinito andando così a limitare quella che è un'importante fonte di rischio per i vettori aerei e al produttore di SAF una certa domanda<sup>284</sup>.

<sup>282</sup> Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C. (2022) : Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, DIW Weekly Report, ISSN 2568-7697, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12.

<sup>283</sup> Grimme W. ;The Introduction of Sustainable Aviation Fuels Challenges and Options.

<sup>284</sup> Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C. (2022) : Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, DIW Weekly Report, ISSN 2568-7697, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12.



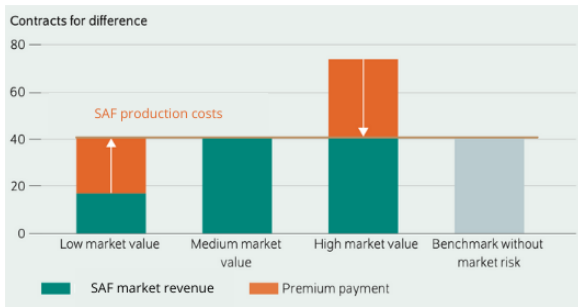


Figura 45-Gestione della differenza nei CfD

I contratti per differenza sono, quindi, uno strumento efficace per creare incentivi per gli investimenti in tecnologie che non sono ancora competitive in termini di costi di produzione. In tale contratto, una parte (in genere un ramo governativo) garantisce di assumere il differenziale tra i costi di produzione e i prezzi di mercato di SAF. Lo strumento è molto adatto a superare l'ostacolo iniziale per gli investimenti nella tecnologia SAF limitati dall'incertezza tecnologica e dalla struttura dei costi. Il vantaggio dei contratti per la differenza è anche l'apertura per quanto riguarda le tecnologie da applicare, poiché un processo di gara potrebbe prescrivere solo una certa quantità di SAF a basse emissioni di carbonio come obiettivo, mentre gli offerenti possono decidere autonomamente quale percorso di produzione è il più promettente. Alla fine, i percorsi di produzione con la più piccola differenza tra il prezzo di mercato e i costi di produzione sono determinati in un approccio in ordine di merito. Nel più ampio ambito dei CfD rimane valido e da perseguire il principio secondo cui lo schema CfD è finalizzato a ridurre i rischi dei fornitori e degli investitori fornendo maggiore fiducia e certezza, garantendo un certo flusso di entrate durante la durata del contratto. I CfD, che sono attualmente considerati come uno strumento di politica SAF in paesi come il Regno Unito o in Canada, possono indirettamente aiutare a ridurre il divario di prezzo dei SAF consentendo un aumento dell'offerta. L'utilizzo dei CfD contribuirebbe anche a raggiungere gli obiettivi di espansione dell'industria SAF il quale risulta bloccato anche a causa dell'incertezza relativa allo sviluppo dei prezzi che interessano la filiera nel medio lungo termine e a causa dei lunghi tempi necessari per la realizzazione degli impianti. Tale strumento dovrebbe guidare i nuovi investimenti e allocare il rischio tra il mercato buy-side e quello sell-side con l'intermediazione e il supporto dello Stato<sup>285</sup>. Sicuramente i CfD limitano i rischi per gli sviluppatori di progetti e contemporaneamente stabilizzano i prezzi dei SAF per le compagnie aeree, proteggendo i produttori dalle fluttuazioni dei prezzi sia del mercato SAF che degli input produttivi. In questo modo consentono un finanziamento semplice ed economicamente vantaggioso per la necessaria accelerazione dell'espansione della capacità

<sup>285</sup> Simshauser, P. On the Stability of Energy-Only Markets with Government-Initiated Contracts-for-Differences. *Energies* 2019, 12, 2566

produttiva dei carburanti sostenibili per l'aviazione. Allo stesso tempo si evita il rischio che i progetti accettati nelle aste non vengano realizzati a causa delle fluttuazioni dei prezzi a breve termine.

Di fatto sembra che gli obiettivi principali vengano raggiunti: mercato stabile e costi competitivi per il governo; garanzia sui rendimenti degli investimenti e compenso superiore alle perdite per i produttori; garanzia del mercato e business plan progettuale per i fornitori; certezza di fornitura e potenziale di prezzo basso per i consumatori. Quindi i CfD fornirebbero una copertura simmetrica sia per i consumatori che per i produttori. Se venisse utilizzato questo strumento, le entrate al di sopra del prezzo contrattuale verrebbero sottratte e trasferite per ridurre i costi del carburante sostenibile. L'introduzione dei CfD manterrebbe la certezza dei ricavi degli investitori e ridurrebbe i costi di finanziamento per i progetti SAF. Il minor costo di finanziamento permesso dallo strumento in analisi potrebbe generare risparmi per le compagnie aeree, dato che il costo del capitale rappresenta un'importante quota dei costi dell'industria SAF considerata esposta ad elevato rischio dagli investitori. Ulteriori vantaggi derivanti dalla copertura dei rischi di prezzo e dall'eliminazione delle rendite di scarsità saranno discussi in seguito. Inoltre, i CfD possono rafforzare l'espansione della produzione di SAF garantendo un flusso di pagamenti prevedibile per i produttori. Ciò semplifica le condizioni di finanziamento e offre ai promotori del progetto la sicurezza necessaria per investire nello sviluppo a lungo termine di nuovi progetti e per realizzare un numero maggiore di progetti con il capitale proprio esistente<sup>286</sup>.

L'introduzione dei CfD garantirebbe una copertura dei rischi per tutte le compagnie aeree e ciò sottolinea l'attrattiva dei CfD anche di fronte agli elevati prezzi degli input e all'incertezza sull'andamento futuro dei prezzi SAF. Questa copertura dei rischi è rilevante anche dal punto di vista sociale, poiché a valle del Refuel Eu, che prevede ambiziosi obblighi di miscelazione, si rischia di generare un onere eccessivamente pesante per i passeggeri nei periodi di aumento dei costi degli input produttivi SAF e di conseguenza dei SAF stessi. Il trasferimento dei termini dei CfD alle imprese potrebbe comportare ulteriori vantaggi per le compagnie che utilizzano SAF. Con questo modello le compagnie aeree possono registrare la loro domanda nelle aste. Per il volume aggiuntivo dichiarato verrebbe definito un contratto tra gli acquirenti e il "pool" di produttori, i cui pagamenti sarebbero garantiti dal governo. In questo modo le compagnie aeree beneficiano di prezzi dei carburanti

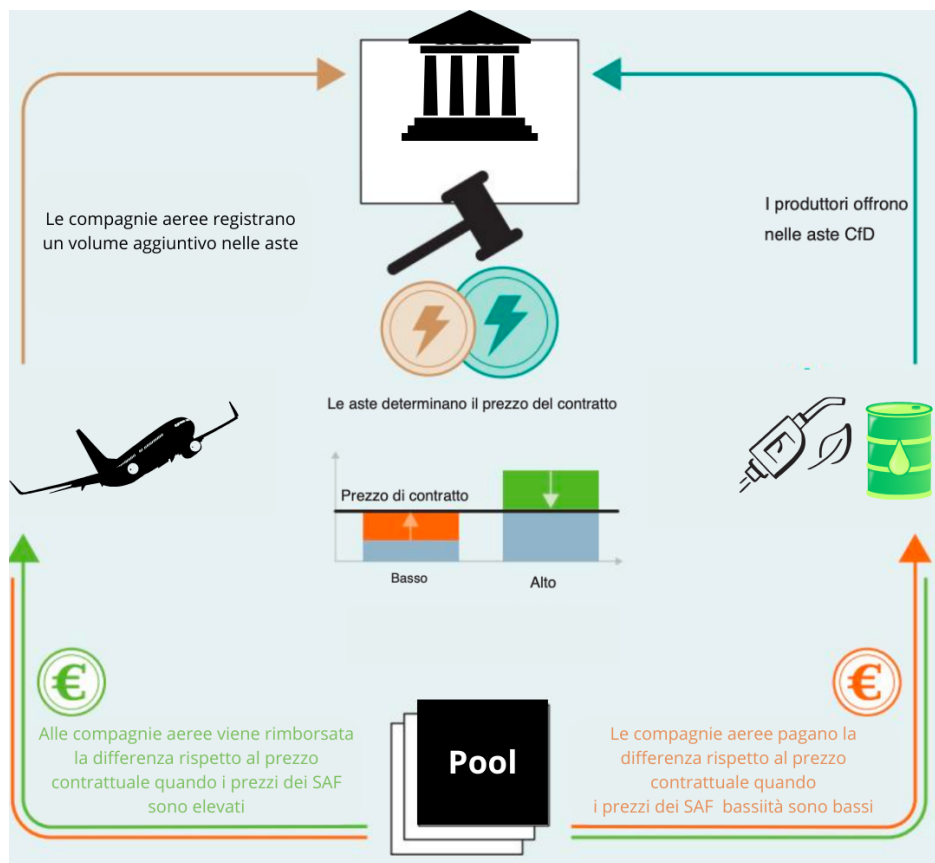
---

<sup>286</sup> Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C. (2022) : Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, DIW Weekly Report, ISSN 2568-7697, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12.

sostenibili per l'aviazione coperti a lungo termine e, allo stesso tempo, possono raggiungere i propri obiettivi climatici attraverso l'approvvigionamento certificato di SAF.

Figura 46-Meccanismo dei CdF sotto impulso delle compagnie aeree

Grazie all'elevata solvibilità dello Stato si evitano gli svantaggi dei costi di finanziamento dei contratti offtake. Standardizzando le condizioni e consentendo contratti su piccola scala, possono partecipare più aziende rispetto ai grandi accordi offtake. Tuttavia, lo schema dovrebbe garantire che tutte le parti interessate della catena di approvvigionamento ne traggano beneficio - fornitori SAF, investitori e



compagnie aeree, e in questo modo consentire condizioni di parità. Altri elementi chiave che devono essere considerati sono la definizione della materia prima e la fissazione del prezzo di esercizio. Le SAF hanno grandi differenze con altre fonti di energia, a causa delle diverse materie prime e percorsi utilizzati, quindi preferibilmente, ci dovrebbe essere una classificazione - e una priorità - secondo i criteri stabiliti che tengano conto anche dell'importanza della diversificazione dei processi e delle materie prime. Un sistema di remunerazione sostenibile dovrebbe, infatti, fornire incentivi per espandere il ventaglio di processi produttivi in modo da svincolare il sistema produttivo dal rischio di dipendenza energetica<sup>287</sup>. La diversificazione della produzione di carburanti sostenibili è una strategia centrale nella mitigazione di tale rischio. L'adozione di diversi processi produttivi si traduce

<sup>287</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; Italy 2023 Energy Policy Review

nell'utilizzo di diversi input, ciò svincola i produttori dalla dipendenza verso un unico fornitore. Attraverso i CfD il regolatore potrebbe stimolare lo sviluppo di diversi processi sostenendo una stabilità dell'industria nel lungo periodo.

Inoltre, nella fase attuale, i prezzi del SAF sono fino a quattro volte superiori a quelli del carburante convenzionale, a causa della scarsa offerta e dell'elevata concorrenza. È quindi necessario valutare attentamente il prezzo di esercizio, considerando lo status quo e l'alto mark-up iniziale. Infine, si dovrebbe tenere in debita considerazione da dove proviene il finanziamento per i CfD. Costi o entrate per il governo possono sorgere a seconda di come si sviluppano il prezzo di mercato dei SAF. Infine, definire il portafoglio condiviso di tutti i Contratti per Differenza (CfD) come un prodotto standardizzato potrebbe ulteriormente sviluppare i mercati forward dei SAF facilitando la creazione di prodotti finanziari complementari rispetto al prodotto forward standardizzato per coprire i rischi di profilo. Questo può garantire flussi di entrate dalle opzioni di flessibilità e generare gli investimenti necessari per sviluppare questa flessibilità<sup>288</sup>.

L'espansione della produzione SAF e il contemporaneo sostegno alla stabilità dei prezzi sul mercato del carburante costituiranno nei prossimi anni una sfida centrale di politica di decarbonizzazione del settore dei trasporti. La ratio dei CfD per i SAF è quella di sostenere proprio questo obiettivo proteggendo i produttori e le compagnie aeree dalle fluttuazioni dei prezzi e allo stesso tempo rafforzare l'espansione dei processi produttivi. Inoltre, i CfD potrebbero essere progettati in modo da raggiungere altri obiettivi di politica energetica e climatica, come ad esempio il trasferimento dei CfD raggruppati potrebbe portare ad una copertura simultanea sia dell'industria che dei produttori e ridurre i costi di finanziamento.

Analizziamo adesso la compatibilità di questo strumento con il contesto della dinamica delle reti strategiche, studiata nella sezione precedente. La sezione precedente offre una panoramica delle frizioni responsabili del blocco dello sviluppo della produzione SAF. Gli ostacoli individuati interessano tutti gli attori della value chain a partire dalle compagnie aeree, esposte alle fluttuazioni dei prezzi dei carburanti, passando per gli aeroporti e le joint venture per nuove tecnologie SAF sino ad arrivare ai produttori, esposti ad un'elevata incertezza tecnologica che genera alti costi del capitale e suscettibili alle fluttuazioni dei prezzi delle materie prime. Questa situazione altamente complessa si ipotizza possa essere risolta attraverso la creazione di una rete strategica, che può essere generata attraverso l'impiego di diversi strumenti: accordi offtake tra compagnie aeree e produttori; le

---

<sup>288</sup> Christine Brown, Jonathan Dark, Kevin Davis; Exchange Traded Contracts for Difference: Design, Pricing and Effects

partnership, volte a completare il bundle di risorse e conoscenze necessarie per la produzione di SAF; dinamiche di co-produzione nella filiera e diverse collaborazioni nell'ambito della ricerca. Questa soluzione prevende, quindi, la creazione di agglomerati aziendali costituiti dai diversi attori della value chain che tendono a collocarsi vicini, anche dal punto di vista geografico, per fortificare la co-specializzazione e ottimizzare gli aspetti legati ai costi di transazione. In questo schema, subentra anche la figura del regolatore nazionale che valuta tale contesto come un'opportunità per la crescita economica e lo sviluppo del paese. Il fine è, quindi, quello di attrarre nel proprio territorio l'agglomerato di imprese che necessita dell'ultimo tassello per risolvere le frizioni che caratterizzano il mercato SAF. L'ultimo tassello consiste proprio nell'individuare un ambiente che, sia dal punto di vista normativo, che da quello delle risorse, consenta di acquisire sviluppo e sostegno alla crescita del settore. Ciò gli può essere garantito dal regolatore nazionale. Dal punto di vista normativo i CfD rappresentano uno strumento valido per generare un contesto nazionale capace di attrarre le industrie produttive di SAF in quanto consente attenuare i rischi per i produttori garantendo la competitività dei prezzi SAF attraverso la gestione della differenza e offre certezze alle compagnie aeree su disponibilità e prezzi dei carburanti sostenibili anche superiori agli accordi offtake per merito della mediazione del governo. Il carattere incentivante dei contratti per differenza, inoltre, stimola ulteriormente partnership e collaborazioni volte ad un efficientamento dei costi, raggiungibile sia attraverso un'attenta gestione dei costi di transazione sia sfruttando sinergie tecnologiche tra diversi attori del nucleo produttivo. Concludiamo ribadendo l'importanza che questo strumento potrebbe assumere nello sviluppo del mercato SAF e sottolineando l'interessante aspetto finanziario dei CfD che potenzialmente offre un'ulteriore fonte di stabilità al mercato

### **Carbon contracts for difference**

I Carbon Contracts for Difference (CCfD)<sup>289</sup> sono considerati uno strumento politico promettente per incentivare l'industria ad alta intensità energetica, come quella dell'aviazione, e a investire in processi di produzione a impatto climatico zero, come i SAF. In particolare, i CCFD rappresentano patti stipulati tra un'entità pubblica o una società privata e un operatore, nei quali si stabilisce un prezzo fisso per le emissioni di carbonio per un periodo temporale specifico. Ciò implica che se il prezzo di mercato del carbonio è inferiore al prezzo stabilito nell'accordo, l'operatore riceverà una compensazione per coprire la differenza. D'altro canto, se il prezzo di mercato supera il valore prefissato, sarà l'operatore a dover restituire l'importo extra alla controparte coinvolta nell'accordo.

---

<sup>289</sup> Timo Gerres, Pedro Linares; Carbon Contracts for Differences (CCfDs) in a European context;REPORT, JUNE 2022

I CCFD avranno, quindi, una duplice finalità: da un lato, contribuiranno a mitigare la significativa incertezza a lungo termine connessa ai prezzi del carbonio, abbassando di conseguenza i costi finanziari relativi ai nuovi progetti; dall'altro, consentiranno di conferire un premio rispetto alle prospettive di prezzo del carbonio previste, al fine di sostenere lo sviluppo delle tecnologie emergenti<sup>290</sup>. Nel mercato SAF tali effetti sono più che desiderabili in quanto l'incertezza e i conseguenti costi del capitale paralizzano l'offerta.

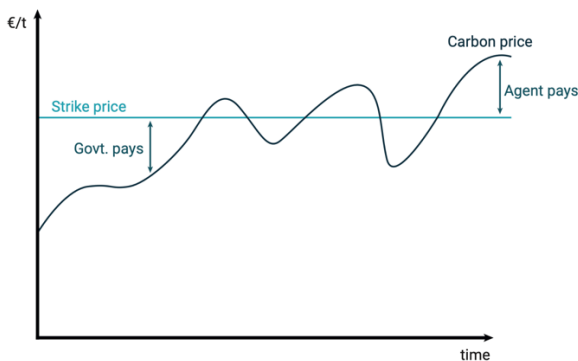


Figura 47-Andamento carbon price nei CCFD; Fonte:Federmanager

Sono diverse le proposte di CCfD in discussione, e sono caratterizzate da differenze in termini di elementi di progettazione e di rispettive opzioni di progettazione. Analizzeremo le proposte di progettazione suggerite e discusse dall'industria, dai politici e dagli istituti di ricerca ed effettueremo un'indagine approfondita degli elementi di progettazione di queste proposte. La valutazione delle opzioni di progettazione basata su quattro criteri selezionati (efficacia, efficienza statica e dinamica e diversità degli attori) rivela che i compromessi tra le opzioni di progettazione rendono difficile raggiungere risultati positivi sotto tutti i criteri contemporaneamente. I risultati indicano anche che i policy maker si concentrano sull'efficienza statica a scapito della diversità degli attori. Pertanto, questi compromessi devono essere presi in considerazione quando si implementano i CCfD.

In principio, il sistema di scambio delle quote di emissioni dell'UE (ETS) dovrebbe fornire incentivi per investire in tecnologie a zero emissioni di carbonio. Tuttavia, mostra che è necessario un prezzo della CO<sub>2</sub> troppo elevato (compreso tra 280 e €/tCO<sub>2</sub><sup>291</sup>) per incentivare le industrie a passare a prodotti sostenibili, come i biocarburanti, un prezzo irrealisticamente elevato rispetto all'attuale livello di prezzo dell'EU ETS e al prezzo dell'EU ETS tra 30 e 52 €/tCO<sub>2</sub> secondo le stime dalla Commissione UE nel 2030. Pertanto, per accelerare la decarbonizzazione del settore, un approccio

<sup>290</sup> FEDERMANAGER - AIEE Dicembre 2021;Focus energia

promettente potrebbe essere l'implementazione dei Carbon Contracts for Difference (CCfD), uno strumento di supporto attualmente allo studio da parte di istituti di ricerca, policy maker e industria stessa. Uno degli approcci più discussi è che l'amministrazione aggiudicatrice (ad esempio, il governo nazionale) offra al contraente un prezzo garantito per la CO<sub>2</sub> (prezzo di esercizio) per compensare l'insufficiente livello dei prezzi ETS e per garantire la competitività in termini di costi del settore quando si implementa una tecnologia climaticamente neutra.

Le grandi potenzialità dei CCfD nel mercato SAF risiedono nella grande flessibilità ed adattabilità di tale strumento. Questi contratti presentano diverse leve che consentono al regolatore di strutturare un approccio differente, a seconda della casistica, svincolando la specifica soluzione da una concorrenza intersettoriale e intertecnologica nel mercato del carbonio. Date le particolarità del mercato SAF, ed in generale del mercato dell'aviazione, nell'ottica della decarbonizzazione, risulta evidente la necessità di misure ad hoc per il raggiungimento degli obiettivi climatici del settore che consenta la creazione di una concorrenza relativa tra le opzioni di decarbonizzazione dell'aviazione e svincoli le stesse soluzioni tecnologiche da una concorrenza assoluta, tra tutte le soluzioni per l'abbattimento delle emissioni. Un confronto intersettoriale tra le diverse opzioni di decarbonizzazione porrebbe l'opportunità SAF in una posizione di inefficienza in termini di costo di abbattimento, disincentivando la crescita del mercato. Un approccio del genere escluderebbe l'aviazione da uno sviluppo green generando dei ritardi dal punto di vista tecnologico e di scala difficilmente recuperabili. Una visione più lungimirante è quella di realizzare l'importanza dei SAF, in quanto unica soluzione percorribile nel breve-medio termine, per decarbonizzare l'aviazione e, in quanto tale, va tutelata nonostante le attuali inefficienze in termini di costi che ad oggi presenta. Un miglioramento dall'economicità dei SAF, peraltro, potrà essere raggiunto solo attraverso la crescita dello stesso mercato, che consentirà il raggiungimento di economie di scala, il miglioramento tecnologico e l'efficientamento della supply chain. In questo contesto, i CCfD rappresentano un'interessante soluzione per strutturare un sistema incentivante e stimolante per lo specifico caso SAF. L'efficacia di tale strumento potrà essere raggiunta attraverso la progettazione di un contratto<sup>292</sup> che tenga conto delle complesse necessità che interessano il panorama dei carburanti sostenibili per l'aviazione. Le leve su cui il regolatore potrà agire saranno discusse in seguito.

---

<sup>292</sup> A. Rilling, V. Anatolitis and L. Zheng, "How to design Carbon Contracts for Difference - A systematic literature review and evaluation of design proposals," *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2022.

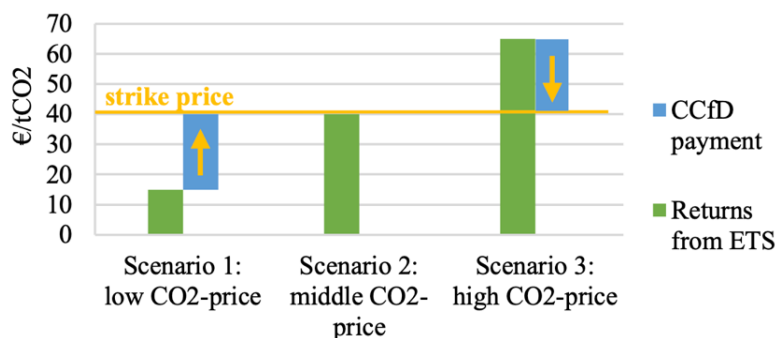


Figura 48- Funzionamento CCfD; Fonte: *How to design Carbon Contracts for Difference - A systematic literature review and evaluation of design proposals,*"

La valutazione delle opzioni progettuali, come detto, si basa su quattro criteri: efficacia, efficienza statica e dinamica e diversità degli attori; dove l'efficacia è il criterio di valutazione che può essere utilizzato per descrivere se una misura è adatta al raggiungimento di un determinato obiettivo, l'efficienza statica descrive il raggiungimento di un determinato obiettivo in modo economico, l'efficienza dinamica si riferisce alla riduzione dei costi a lungo termine, nonché all'impatto sull'innovazione e la diversità degli attori garantisce che tutte le aziende ammissibili ai sussidi abbiano giuste opportunità e aumentino l'accettabilità sociale.

La sezione successiva presenta gli elementi di progettazione identificati negli studi sui CCfD ed in particolare nello studio: "How to design Carbon Contracts for Difference"<sup>293</sup> di Anabel Rilling, Vasilios Anatolitis, Lin Zheng. Includiamo, inoltre, elementi di progettazione comuni in un contratto per differenza (CfD), che è uno strumento politico simile a quello utilizzato nelle aste RES/sistemi di sostegno RES. Premettiamo che i CCfD vengono concessi attraverso una procedura di aggiudicazione. Distinguiamo 4 diverse procedure di aggiudicazione: una procedura di domanda; una procedura basata su asta; una procedura di gara in più fasi; una procedura con collegamento a sovvenzioni per l'innovazione nazionali o dell'UE. Spesso si procede con una valutazione specifica del progetto, che garantisce per fattori – ad esempio: fattibilità, il grado di innovazione e la maturità tecnologica - una maggiore considerazione nella procedura di aggiudicazione. L'attenzione si concentra sul volume di riduzione delle emissioni e non sui suoi costi come avviene per le procedure tradizionali. Pertanto, un processo di candidatura o una procedura di aggiudicazione basata su più criteri è preferibile a un processo basato su aste se l'obiettivo politico primario è ottenere una riduzione delle emissioni con elevata efficacia. L'aggiudicazione tramite asta è una procedura in più

<sup>293</sup> A. Rilling, V. Anatolitis and L. Zheng, "How to design Carbon Contracts for Difference - A systematic literature review and evaluation of design proposals," *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2022.



fasi con elementi di gara o collegamento a bandi di contributi per l'innovazione. Le prospettive che si prendono in considerazione attengono ad una dimensione di efficienza statica e ad una dimensione di efficienza dinamica. Nello specifico è sicuramente da valutare positivamente in termini di efficienza statica, infatti, la determinazione del prezzo finale avviene attraverso un processo competitivo. I singoli premi possono prendere ad oggetto sia la futura sostenibilità finanziaria di una tecnologia, sia gli obiettivi di riduzione delle emissioni a lungo termine. Per quanto riguarda l'efficienza dinamica, sono preferibili un processo di candidatura, gare in più fasi o il collegamento a gare per sovvenzioni per l'innovazione. Le procedure di candidatura multicriterio rappresentano l'alternativa più interessante considerando la diversità degli attori. È auspicabile anche un collegamento alle sovvenzioni per l'innovazione nazionali o dell'ETS dell'UE, poiché queste già riflettono tassi di finanziamento più elevati per progetti ad alto rischio e su piccola scala. È evidente come la sola definizione della procedura di aggiudicazione rappresenti una leva fondamentale nelle mani del regolatore, il quale potrà indirizzare la filiera SAF ad un continuo miglioramento delle prestazioni ambientali mantenendo alta la competitività alta all'interno del settore, così da raggiungere l'efficienza anche a livello di prezzo. Infatti, il prezzo di esercizio, noto anche come prezzo contrattuale, può essere determinato o tramite una gara d'appalto in modo competitivo o, invece, amministrativamente da parte dell'emittente del contratto. Ciò può avvenire, ad esempio, attraverso una revisione dei costi del singolo progetto da parte di esperti indipendenti o negoziazioni con società industriali. In sintesi, le modalità che possono essere attuate per la definizione del prezzo di esercizio sono due: fissazione dei prezzi in maniera endogena o fissazione dei prezzi esogena. Si chiarisca che, in termini di efficacia, un prezzo contrattuale auspicabile è quello che è stato valutato in modo endogeno da parte di esperti indipendenti tenendo conto dei costi specifici del progetto. Ciò è importante per garantire prezzi adeguati alla moltitudine delle singole tecnologie. Un prezzo di esercizio elevato crea inoltre un incentivo per il governo ad aumentare il prezzo dell'EU ETS e ridurre al minimo la differenza nei costi di sostegno. Nel panorama SAF la fissazione del prezzo in chiave endogena garantirebbe un equo trattamento delle diverse tecnologie ancora in evoluzione. Ciò consentirebbe di evitare una dinamica per la quale le tecnologie attualmente più sviluppate godano di un vantaggio competitivo rispetto alle tecnologie più immature. Ciò produrrebbe un blocco allo sviluppo di quest'ultime che, ancora in fieri, potrebbero essere essenziali per il raggiungimento degli obiettivi climatici. La fissazione dei prezzi esogena tramite procedure basate su aste è migliore per l'efficienza statica, poiché gli offerenti con i prezzi più bassi riceverebbero il sussidio. L'aggiudicazione della sovvenzione comporta il minor costo possibile. D'altro canto, la fissazione dei prezzi tramite offerte competitive è inefficiente in termini di efficienza dinamica. Perché, come detto, le tecnologie innovative ma meno mature, che potrebbero rivelarsi più economiche nel lungo periodo, non

raggiungono il livello di finanziamento richiesto. La tariffazione amministrativa attraverso la valutazione dei costi dei singoli progetti comporta una maggiore diversità degli attori. Qui il prezzo di esercizio è fissato in base alla tecnologia specifica, nell'ottica di incoraggiare la partecipazione di piccoli attori e di proteggere le tecnologie ancora non mature.

Altra leva fondamentale nelle mani del regolatore è il meccanismo di rimborso, il quale consente di stimolare o meno diverse dinamiche relative ai prezzi e alle tecnologie. Tale meccanismo, nei CfD per le FER, prevede che nel caso in cui il prezzo di riferimento sia superiore al prezzo di esercizio, i beneficiari dei CCFD devono rimborsare i profitti aggiuntivi all'emittente del contratto. Alcune proposte progettuali, però, non considerano tale meccanismo di rimborso. Un contratto senza meccanismo di rimborso incentiva le aziende industriali a ottenere la massima riduzione possibile delle emissioni indipendentemente dal livello dei prezzi, il che porta ad un'elevata efficacia della riduzione delle emissioni. Un contratto che prevede il rimborso non appena il prezzo di riferimento è superiore al prezzo contrattuale può, in determinate circostanze, essere meno efficace dal punto di vista della sostenibilità poiché l'industria ha meno o nessun incentivo ad ottenere un'ulteriore riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto al volume concordato nei contratti. D'altro canto, l'attuazione del rimborso fornisce una maggiore efficienza statica, poiché compensa i rischi di prezzo che l'emittente del contratto assume quando il prezzo di riferimento è superiore al prezzo del contratto. Nel complesso, un contratto con un meccanismo di rimborso è più conveniente in termini di costi, poiché il rimborso può, almeno in parte, essere reindirizzato al finanziamento di nuovi CCFD. Questo elemento di progettazione non influisce sull'efficienza dinamica, poiché la modalità di rimborso non influenza l'aumento o la diminuzione dei costi operativi nel prossimo futuro. I rischi di prezzo vengono redistribuiti attraverso i rimborsi tra l'emittente del contratto e le società industriali. Gli investitori di piccole e medie dimensioni solitamente non dispongono di liquidità sufficiente per ripagare l'emittente del contratto in caso di rimborso a un prezzo di riferimento elevato. Di conseguenza, dal punto di vista della diversità degli attori, sarebbe preferibile un contratto senza meccanismo di rimborso. In tutte le dimensioni che stiamo analizzando si presenta una scelta di trade-off tra sostenibilità, efficacia statica ed efficacia dinamica.

Come ulteriore elemento progettuale fondamentale, individuiamo la durata del contratto. Il periodo di sostegno fino al raggiungimento di un livello di prezzo della CO<sub>2</sub> sufficiente. La durata contrattuale consigliata varia da 10 anni a 20 anni, fino all'intera vita dell'impianto. Si prevede che i contratti a lungo termine abbiano un'elevata efficacia, poiché per massimizzare la resa dello strumento in questione gli impianti di produzione dovrebbero essere sovvenzionati fino a quando non raggiungono la fattibilità economica. Se un CCFD di supporto OPEX termina prima che l'impianto raggiunga la

propria fattibilità economica, lo stesso potrebbe essere chiuso a causa dell'elevato OPEX insostenibile, comportando, di conseguenza, addirittura un aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, in quanto le "vecchie" macchine potrebbero essere ripotenziare. L'efficienza statica dipende dalla progettazione della modalità di rimborso. L'andamento del prezzo di riferimento è difficile da prevedere. Lo studio "The new EU climate target will increase carbon prices and could phase out coal power in Europe as early as 2030<sup>294</sup>" prevede che i prezzi dell'EU ETS raggiungano i 130 €/tCO<sub>2</sub> entro il 2030. Un CCfD a lungo termine, pertanto, è preferibile se il rimborso viene attuato per mitigare i rischi di prezzo per l'emittente del contratto. La durata dei contratti a breve termine è più interessante per gli emittenti del contratto se non caratterizzati dal rimborso unilaterale. Ciò potrebbe ridurre il rischio di mantenere sul mercato progetti economicamente inefficienti. Si prevede che i CCfD a lungo termine forniranno prestazioni migliori in termini di efficienza dinamica. Non è ancora prevedibile lo sviluppo dell'OPEX, che verrebbe preso in considerazione con termini contrattuali più lunghi. Un contratto di lunga durata garantisce ai candidati una sicurezza finanziaria anche oltre il periodo legislativo, anche per le aziende più piccole, promuovendo la diversità degli attori. Si aggiunga che la dimensione politica e legislativa può dare priorità alla decarbonizzazione di settori o tecnologie specifici. Un elemento di progettazione cruciale è quindi la diversità all'interno di un ciclo di assegnazione. È possibile assegnare premi in tutti i settori e tecnologie, all'interno di un settore con diverse tecnologie in competizione tra loro o all'interno di un settore con tecnologie simili, rispettivamente tecnologie con costi di riduzione delle emissioni simili.

Un'allocazione intersettoriale e intertecnologica presenta il vantaggio per il quale non è necessario stabilire i budget di finanziamento per i rispettivi settori o tecnologie. Un'errata allocazione del budget può portare all'inefficienza. D'altro canto, esiste il rischio che venga promossa solo la tecnologia con i costi di riduzione delle emissioni più bassi, non necessariamente quella con il potenziale di riduzione più elevato. Sarebbe pertanto raccomandabile un'assegnazione specifica per settore e tecnologia. Soprattutto all'inizio della promozione, lo stanziamento dovrebbe riguardare le tecnologie che permettono di ottenere rapidamente una riduzione significativa delle emissioni ed evitare il carbon lock-in. È necessario scongiurare il pericolo che industrie con un'elevata dipendenza dai combustibili fossili ritardino la transizione verso alternative climaticamente neutre a causa di una mancata prioritizzazione volta a tutelare le opportunità per i settori hard to abate come quello dell'aviazione. L'allocazione intersettoriale e intertecnologica implica un numero maggiore di partecipanti e quindi mira a una maggiore concorrenza. L'aggiudicazione all'interno di un settore, ma anche attraverso

---

<sup>294</sup> The Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK); The new EU climate target will increase carbon prices and could phase out coal power in Europe as early as 2030

l'ampiezza delle tecnologie disponibili, porta ancora ad una concorrenza sufficiente tra gli offerenti. Per quanto riguarda alcune tecnologie all'interno di un settore specifico, esiste il rischio che alcuni offerenti facciano aumentare i prezzi per le tecnologie a basso costo. Ciò può anche portare alla promozione di tecnologie che non sono economicamente fattibili nel lungo periodo. La promozione di diverse tecnologie con costi di riduzione delle emissioni inferiori in varie fasi di sviluppo potrebbe determinare perdite di efficienza dinamica nel lungo periodo. Questi effetti si applicano anche alle allocazioni intertecnologiche all'interno di un settore specifico. Pertanto, sarebbe meglio distribuire i fondi a tecnologie simili all'interno di un settore considerando la maturità ed i futuri costi di riduzione delle emissioni. Questa allocazione più specifica limita la concorrenza e le incertezze ad essa associate e favorisce la partecipazione dei piccoli attori. Nel contesto della definizione dei budget è opportuno tener conto delle opportunità di decarbonizzazione che presenta ciascun settore, in modo da offrire una maggiore tutela a quelle tecnologie che rappresentano l'unica opzione di decarbonizzazione per un settore, come i SAF per l'aviazione nel breve medio periodo.

Per quanto attiene il finanziamento, questo può prendere in considerazione i costi di investimento e di esercizio (TOTEX), simili ai CfD nel sostegno alle RES. Tuttavia, i CCFD potrebbero coprire solo i costi operativi (OPEX) nel caso in cui le spese di investimento siano finanziate attraverso altri schemi. Nella scelta di tale parametro di progettazione torna centrale il legame tra regolatore nazionale e il regolatore transnazionale e la complementarità tra le misure adottate. In termini di efficacia, sovvenzionare il TOTEX dovrebbe portare ad una performance migliore dell'OPEX. Una sovvenzione durante l'avvio del progetto e durante il funzionamento dell'impianto potrebbe garantire che determinati investimenti e il funzionamento degli impianti stesso avvengano prima. Se l'attenzione è rivolta all'efficienza statica, solo l'OPEX dovrebbe essere coperto attraverso il sussidio da parte dell'emittente del contratto. Lo studio di J. Richstein<sup>295</sup> afferma che per ridurre al minimo i costi di finanziamento totali per i CCfD, un sussidio basato sull'OPEX, attraverso i CCfD, deve essere implementato e combinato con un sussidio indipendente per gli investimenti. Considerato che, sia OPEX che TOTEX, supportano i costi operativi, le loro performance sono comunque valutate positivamente in termini di efficienza dinamica. Si prevede, tuttavia, che il solo sussidio OPEX abbia una minore efficacia e diversità degli attori, poiché le aziende più piccole sono limitate dal loro capitale ridotto per gli investimenti. Vi sono, poi, diversi parametri contrattuali che possono essere determinati staticamente in anticipo o adeguati dinamicamente per l'intera durata del contratto. Da un lato si tratta della copertura dei prezzi dei fattori produttivi. Dall'altro è possibile determinare dinamicamente il volume del contratto in modo da collegare esattamente il livello di finanziamento

---

<sup>295</sup> J. Richstein (2017): "Project-Based Carbon Contracts: A Way to Finance Innovative Low-Carbon Investments

alla riduzione delle emissioni ottenuta in tonnellate di CO2 equivalente secondo il principio "pay-for-performance". Ma soffermiamoci sull'aggiustamento dinamico dei prezzi che potrebbe decarbonizzare l'intera catena del valore: dall'energia rinnovabile e i feedstock (input) al prodotto finale (output), rafforzando il processo di decarbonizzazione e migliorandone l'efficacia. Lo stesso effetto può essere ottenuto attraverso l'adeguamento dinamico del volume dei finanziamenti insieme al rispettivo aumento della riduzione delle emissioni. L'adeguamento regolare dei parametri contrattuali impedisce uno squilibrio nel finanziamento dei progetti<sup>296</sup>. D'altro canto, in caso di costi aggiuntivi imprevedibili (ad es. aumento dei prezzi dell'energia), i maggiori costi operativi saranno compensati attraverso dinamiche di adeguamento del prezzo, con conseguente onere più elevato per l'emittente del contratto. Pertanto, non è possibile effettuare una valutazione chiara riguardo all'efficienza statica nell'aggiustamento dinamico dei contratti. Per una maggiore efficienza dinamica, l'aggiustamento dinamico del contratto è inevitabile. Gli impatti significativi causati dalle variazioni dei costi variabili possono essere minimizzati e i tassi di apprendimento e le economie di scala delle tecnologie nuove e innovative si rifletteranno anche nel prezzo contrattuale. Per quanto riguarda il volume contrattuale fisso, si prevede una minore efficienza dinamica poiché i cambiamenti dinamici nel volume di produzione, e in particolare l'entità della riduzione delle emissioni, non verrebbero adattati. Rendere i contratti più dinamici riduce i rischi legati agli input e fornisce maggiore sicurezza alle imprese. Ciò è particolarmente importante per gli attori più piccoli con una maggiore avversione al rischio e li motiva a richiedere i CCfD. Il mancato raggiungimento di un obiettivo di riduzione delle emissioni potrebbe anche comportare sanzioni che le aziende più piccole non possono permettersi. Un aggiustamento dinamico, dunque, migliorerebbe la diversità degli attori. Punto chiave da affrontare prima della conclusione del contratto è quello di chiarire se un CCfD debba essere collegato a un progetto concreto o all'intera azienda. Se il contratto si riferisce a un progetto, per calcolare l'importo del finanziamento viene utilizzato solo il volume di riduzione delle emissioni raggiunto dal progetto specifico, ciò ha lo scopo di evitare il trasferimento a terzi e obbligare le aziende a decarbonizzare una tecnologia di produzione precedentemente convenzionale. I CCfD potrebbero essere collegati all'effettiva riduzione delle emissioni di tecnologie o processi innovativi per evitare che le aziende riducano le emissioni attraverso altre misure o in altre strutture solo per adempiere all'impegno contrattuale, divenendo così fondamentale per l'efficacia dello strumento che mira a promuovere soluzioni climatiche innovative. Nel caso dei CCfD basati su progetti senza possibilità di aggiustamento, le aziende sono vincolate ai progetti impegnati, e non possono adattare la propria strategia di riduzione delle emissioni in un modo economicamente vantaggioso, il che

---

<sup>296</sup> J. C. Richstein e K. Neuhoff, «Carbon contracts-for-difference: How to de-risk innovative investments for a low-carbon industry?», *iScience*, vol. 25, n. 8, ago. 2022

potrebbe portare a un'efficienza statica inferiore rispetto a un CCfD basato sull'azienda. D'altro canto, un CCfD basato su progetti potrebbe avere un'efficienza dinamica maggiore rispetto a un CCfD basato sull'azienda, garantendo anche che le aziende si concentrino sullo sviluppo delle tecnologie a cui i politici hanno dato priorità e che non sono necessariamente tecnologie con i costi minori ma potrebbero essere, come è auspicabile che sia, quelle con il più alto potenziale di riduzione delle emissioni. L'opzione specifica per progetto assicurando una maggiore diversità degli attori, espone le piccole imprese a minori rischi garantendo il successo di un progetto specifico, altrimenti le aziende con un elevato potenziale di riduzione delle emissioni provenienti da più impianti sarebbero avvantaggiate rispetto alle aziende più piccole che vanno comunque tutelate. Tale discorso, nell'ambito SAF, crea una garanzia sull'impegno della produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione e allo stesso tempo supporta la diversificazione delle tecnologie adottate per svincolare la produzione dalla dipendenza da fornitori di materie prime.

Gli strumenti CCfD sono impattanti su diversi parametri chiave, tra cui l'efficienza statica, che si riflette nella preferenza per opzioni di progettazione pro-competitive come le aste, e l'efficacia, l'efficienza dinamica e la diversità degli attori. Tuttavia, l'analisi ha rivelato che esistono compromessi tra questi criteri, rendendo la progettazione di un CCfD "ottimale" un compito complesso. Ciò richiede ai politici di concentrarsi sull'obiettivo principale che intendono raggiungere e di accettare che potrebbe esserci un impatto negativo su altri aspetti. Se la procedura di assegnazione, ad esempio, mira a massimizzare l'efficienza statica, i politici dovrebbero selezionare opzioni progettuali che promuovano la concorrenza, anche se ciò potrebbe ridurre la diversità degli attori e l'efficienza dinamica. Alcuni elementi strutturali, come la dimensione, la diversità geografica e l'adeguamento dinamico dei prezzi e dei volumi, hanno effetti ambigui sui criteri di valutazione, il che rende cruciale la scelta attenta delle opzioni di progettazione relative a questi elementi. Infine, è essenziale considerare l'interdipendenza tra gli elementi di progettazione, come ad esempio l'effetto della modalità di rimborso sulla durata del contratto. In definitiva, diventa evidente che il contributo e il successo dei CCfD sono strettamente correlati alla loro progettazione complessa, che deve tenere conto di tutti questi aspetti e dei compromessi menzionati.

## **Intervento del regolatore attraverso il sistema aeroportuale**

Ulteriore aspetto che può interessare l'operato del regolatore nazionale è l'attuazione di misure volte ad internalizzare il beneficio ambientale nel business. In questo intento un perno fondamentale possono essere gli aeroporti, enti che vanno a svolgere il ruolo di facilitatore nella distribuzione dei SAF.

Misure che potrebbero essere attuate facendo leva sugli aeroporti sono:

1. Discriminatory airport charges<sup>297</sup>: tale misura prevede di internalizzare il beneficio ambientale nella tassa aeroportuale traducendolo, quindi, in beneficio economico. Un aspetto interessante risiede nel fatto che l'attuale sistema aeroportuale percepisce le compagnie che utilizzano SAF come non efficienti dal punto di vista dei costi e, attraverso la tariffa uniforme, le spinge all'uscita dal mercato. Schiphol, Heathrow e gli aeroporti del gruppo Swedavia AB stanno prendendo in considerazione l'attuazione di un sistema di tariffe aeroportuali differenziate basate sulle prestazioni ambientali. Tuttavia, l'uso di tariffe discriminatorie è vietato ai sensi dell'articolo 15 della Convenzione di Chicago. Lo studio di Sai Bravo Melgarejo e Estelle Malavolti<sup>298</sup> valuta l'impatto dell'autorizzazione di oneri differenziati nel contesto della concorrenza intermodale, concludendo che, con tariffe uniformi, le compagnie aeree non hanno alcun incentivo a utilizzare i SAF. Se un regolatore, invece, autorizzasse tariffe aeronautiche discriminatorie, le compagnie aeree potrebbero passare a una miscela di SAF e cherosene e si ipotizza la crescita della quota di mercato del trasporto aereo. Melgarejo e Malavolti studiano gli aeroporti come una piattaforma a due versanti che estraggono profitti alle compagnie aeree attraverso le tariffe e ai passeggeri attraverso le attività commerciali. Tra i due versanti vi sono esternalità positive, l'aeroporto può quindi assumere un orientamento volto a massimizzare il numero di passeggeri attraverso tariffe basse per poi massimizzare l'estrazione attraverso le attività commerciali o massimizzare i profitti attraverso alte tariffe alle compagnie aeree che però ridurrebbero gli introiti commerciali. I SAF in questo discorso hanno una duplice valenza, una positiva in quanto vanno a ridurre il gap di sostenibilità con il trasporto ferroviario aumentando potenzialmente il numero di passeggeri e una negativa andando ad appesantire la struttura dei costi delle compagnie aeree. In base all'attuale regolamentazione (vale a dire, tariffe uniformi), se una delle compagnie aeree utilizza una miscela SAF e il prezzo di prenotazione dei passeggeri è elevato, i profitti

---

<sup>297</sup> S. Bravo Melgarejo e E. Malavolti, «Do airlines adopt sustainable aviation fuels under modal competition? »

<sup>298</sup> S. Bravo Melgarejo e E. Malavolti, «Do airlines adopt sustainable aviation fuels under modal competition? »

dell'aeroporto sono massimi quando stabilisce una tariffa unitaria molto elevata, tale da impedire a quest'ultima compagnia aerea di operare sul mercato. La strategia di massimizzazione dei profitti dell'aeroporto, di conseguenza, sarebbe quella di servire solo la compagnia aerea che non utilizza la miscela SAF. Concludiamo che, all'equilibrio, l'adozione unilaterale di carburante ecologico non è possibile con tariffe uniformi. L'attuale regolamentazione, infatti, limita gli incentivi a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> se le compagnie aeree prevedono profitti negativi. Quando un regolatore autorizza tariffe aeronautiche differenziate, l'aeroporto recupera maggiori profitti quando serve entrambe le compagnie aeree. In questo caso, le compagnie aeree sono indifferenti all'utilizzo della miscela, infatti, sebbene il mix dia accesso a tariffe aeronautiche ridotte, le compagnie aeree ottengono sempre profitti nulli. Questa è una conseguenza diretta della situazione di monopolio dell'aeroporto, che gli permette di estrarre tutti i profitti delle compagnie aeree. Nel nostro caso, quindi, l'autorizzazione di tariffe differenziate incentiva l'uso dei SAF rispetto a una situazione di tariffe uniformi. Inoltre, con tariffe differenziate, la quota di mercato del trasporto aereo può essere superiore a quella del benchmark. Questo accade quando i costi aggiuntivi associati all'utilizzo di un sistema misto sono strettamente inferiori alla disutilità del passeggero associata al mancato utilizzo della modalità di trasporto preferita. In questo caso, l'utilizzo di una miscela è una buona strategia per le compagnie aeree per evitare di perdere passeggeri a favore della ferrovia nel contesto delle crescenti preoccupazioni ambientali. Lo studio analizzato si concentra sull'eventualità che un cambiamento nella regolamentazione possa facilitare l'adozione di carburanti meno inquinanti. Tale risultato sarebbe generato dalla strategia di massimizzazione dei profitti dell'aeroporto. Sarebbe, quindi, una scelta razionale dal punto di vista economico.

2. Safslots<sup>299</sup>: l'incentivo proposto prevede un'esenzione da un ritardo di partenza noto come Expect Departure Clearance Time (EDCT) per le compagnie aeree che utilizzano SAF. Quando la capacità dell'aeroporto o dello spazio aereo viene ridotta a causa di vincoli quali condizioni meteorologiche avverse, l'ATC implementa iniziative come i programmi di ritardo al suolo (GDP), che a loro volta assegnano EDCT ai voli interessati. Gli EDCT garantiscono il flusso gestibile e ordinato del traffico aereo data la ridotta capacità del sistema. I SAFslot

---

<sup>299</sup>Kostas Speridakos; SAFslots: Expediting U.S. Leadership in the Future of Jet Fuel Through Air Traffic Incentives; 2020 Building 33 Aviation, LLC



sono crediti che le compagnie aeree possono utilizzare per esentare i voli ad alta priorità dai programmi di ritardo, impostando a zero i ritardi EDCT. Ciò premia le compagnie aeree che investono in modo significativo in SAF. Gli algoritmi verranno adeguati di volta in volta per alzare il livello di guadagno degli slot SAF, incoraggiando le compagnie aeree a miscelare quantità progressivamente maggiori di SAF nelle loro forniture di carburante. SAFslots compenserà il premio di prezzo di SAF consentendo a una compagnia aerea di richiedere esenzioni di ritardo per un numero di voli proporzionale al loro investimento SAF. Il valore finanziario di questi benefici varierà da compagnia aerea a compagnia aerea a seconda di diversi fattori, tra cui il valore che i loro modelli di business e le strutture di rete impongono su alcuni voli rispetto ad altri. Supponendo un budget per il carburante di 7 miliardi di dollari, un premio di prezzo di 3 volte per SAF, una miscela del 2% di SAF a livello di flotta e un vantaggio SAFslot di 15 milioni di dollari, SAFslots ritaglierà il premio di prezzo di SAF del 5,4% e sconterà effettivamente l'intero acquisto SAF del 3,6%<sup>300</sup>. Alla base della misura "SAFslot" si trova un algoritmo che mira a garantire un'assegnazione equa degli slot SAF alle compagnie aeree. Questo algoritmo coinvolge una serie di passaggi, compresa la raccolta e la verifica dei dati sugli acquisti SAF da parte delle compagnie aeree e dei venditori di carburante. Inoltre, l'algoritmo incorpora un controllo incrociato per aumentare la fiducia nell'equa assegnazione degli slot SAF. I criteri considerati includono il volume totale di SAF acquistato, la percentuale di miscelazione a livello di flotta e i rapporti tra investimenti e slot. L'aggiornamento periodico di questi rapporti è cruciale per mantenere il numero totale di slot SAF costante e promuovere la concorrenza nella miscelazione di SAF nei carburanti delle compagnie aeree, il tutto garantendo la sicurezza e l'ordine nel sistema del traffico aereo. In questa prospettiva, l'algoritmo SAFslot svolge un ruolo chiave nell'implementazione di questa misura.

3. Parametro di sostenibilità nelle gare d'appalto per l'assegnazione degli slot aeroportuali<sup>301</sup>. Gli aeroporti vanno ad offrire un servizio pubblico e sono spesso caratterizzati da una proprietà statale che provvede in seguito ad affidarne la gestione e i diritti aeroportuali ad appaltatori pubblici o privati. I diritti aeroportuali sono costituiti dal diritto di approdo e di partenza degli aeromobili, dal diritto per il ricovero o la sosta allo scoperto di aeromobili e

---

<sup>300</sup> Kostas Speridakos; SAFslots: Expediting U.S. Leadership in the Future of Jet Fuel Through Air Traffic Incentives; 2020 Building 33 Aviation, LLC

<sup>301</sup> ICAO, Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF

dal diritto per l'imbarco passeggeri. Essi sono oneri a carico delle compagnie aeree e la loro riscossione consente alle società di gestione degli aeroporti il recupero del costo delle infrastrutture e dei servizi connessi all'esercizio degli aerei e alle operazioni relative ai passeggeri e alle merci, che le società stesse mettono a disposizione delle compagnie. Essendo il concessionario una figura pubblica potrebbe esso assumere l'onere di internalizzare i benefici pubblici della riduzione delle emissioni permesso dall'utilizzo dei SAF nel mercato dell'aviazione. Lo strumento che consentirebbe di internalizzare il beneficio ambientale nelle logiche del business dell'aviazione è quello di introdurre nelle gare d'appalto finalizzate alla concessione dei diritti aeroportuali un parametro di sostenibilità. L'introduzione di un parametro green consentirebbe una traduzione dei risultati ambientali in termini di vantaggio competitivo nell'ambito di una gara d'appalto. Il costo risiederebbe nella riduzione dell'importanza degli altri parametri che potrà spingere all'assegnazione dell'appalto a soggetti meno performanti nelle altre dimensioni della valutazione, questo costo sarebbe sostenuto dal concessionario. Introducendo tale misura l'adozione dei SAF, principale misura disponibile per la decarbonizzazione dell'aviazione, assumerebbe una valenza economica oltre che sociale. Ciò significa che la sostenibilità verrebbe riconosciuta come dimensione di concorrenza nel settore dell'aviazione generando un grande stimolo alla crescita del mercato SAF.

4. Etichette verdi<sup>302</sup>: per promuovere ulteriormente la decarbonizzazione del settore dell'aviazione e informare il pubblico, l'Unione Europea introduce un'etichetta UE per le prestazioni ambientali dei voli. Le compagnie aeree potranno pubblicizzare le tratte aeree, con un'etichetta che indichi l'impronta di carbonio prevista per passeggero e la riduzione di CO2 prevista per chilometro. Un sistema innovativo, che consentirà ai passeggeri di confrontare il diverso impatto sull'ambiente della medesima rotta effettuata da compagnie diverse e con diverse modalità di trasporto. Tale misura consente di raccogliere importanti informazioni sulla sensibilità dei passeggeri verso la questione ambientale fornendo importanti segnali alle compagnie aeree. L'introduzione dell'etichetta verde rende possibile la definizione di un indicatore che esprima "l'elasticità alla sostenibilità" dei consumatori sulla base del quale potranno essere intraprese diverse scelte strategiche da parte delle compagnie aeree.

---

<sup>302</sup> Ministero della transizione ecologica; STRATEGIA NAZIONALE PER L'ECONOMIA CIRCOLARE

## Complementarietà tra quadro normativo europeo e nazionale

L'integrazione tra i due sistemi, nazionale e sovranazionale, si estrinseca, altresì, nello specifico ed efficiente impiego dei fondi di matrice europea esclusivamente attraverso politiche, strumenti e organismi nazionali. Il sistema economico nazionale, invero, in un'ottica di equo bilanciamento tra le caratteristiche del panorama nazionale e le esigenze avvertite, invece, a livello transnazionale è in grado di dare equilibrata attuazione alle direttive UE. I finanziamenti provenienti da strumenti specifici dell'UE possono contribuire a sostenere l'incremento della produzione e dell'adozione di SAF. Gli strumenti<sup>303</sup> riportati di seguito sarebbero rilevanti a questo scopo.

- Horizon Europe è il programma quadro di ricerca dell'Unione europea con un budget di 100 miliardi di euro per il periodo 2021-2027. È estremamente importante sostenere la ricerca e lo sviluppo sulla SAF, in quanto mira a progetti di ricerca anche sui trasporti innovativi e sull'energia con una dimensione climatica.
- Il meccanismo per collegare l'Europa (CEF) sostiene la realizzazione di reti transeuropee ad alte prestazioni, sostenibili ed efficientemente interconnesse nei settori dei trasporti e dell'energia, tra gli altri con un bilancio di 21,38 miliardi di euro per i trasporti nel periodo 2021-2027. Il CEF è molto importante per sostenere i progetti di distribuzione di SAF nell'UE.
- InvestEU riunirà il Fondo europeo per gli investimenti strategici e tredici strumenti finanziari dell'UE attualmente disponibili. Ciò fornirà una garanzia di bilancio dell'UE di 75 miliardi di euro a sostegno di vari settori di investimento. Di rilievo sono le infrastrutture sostenibili e gli sportelli di ricerca, innovazione e sviluppo per sostenere l'incremento della produzione, nonché gli sportelli per le PMI per sostenere l'emergere di nuovi attori nella catena di approvvigionamento SAF, in particolare per la fornitura di materie prime.
- NextGenerationEU mira a sostenere gli investimenti pubblici per gli sforzi degli Stati membri per riprendersi dalla crisi COVID-19, con particolare attenzione alla ripresa accelerando la transizione verde. Con una dotazione di 750 miliardi di euro, è estremamente importante sostenere lo sviluppo della capacità di produzione di SAF negli Stati membri, in particolare attraverso il dispositivo per la ripresa e la resilienza, sulla base dei rispettivi piani nazionali di ripresa e resilienza.

---

<sup>303</sup> DOCUMENTO DI LAVORO DEI SERVIZI DELLA COMMISSIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO: "Accompagnando la proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sulla garanzia di condizioni di parità per il trasporto aereo sostenibile"; Bruxelles, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final

- Il Fondo per l'innovazione nell'ambito del sistema ETS dell'UE è un fondo da 10 miliardi di euro per il periodo 2020-2030, che mira a immettere sul mercato tecnologie a basse emissioni di carbonio, con particolare attenzione ai settori industriali nell'ambito del sistema ETS dell'UE e all'uso delle energie rinnovabili e della cattura del carbonio (CCU) e archiviazione (CCS). È estremamente importante sostenere gli impianti dimostrativi per i biocarburanti avanzati e gli RFNBO.
- Importanti progetti di comune interesse europeo (IPCEI) possono fornire un sostegno significativo alle industrie emergenti, se allineati con gli obiettivi strategici dell'UE. Gli IPCEI (ad esempio batterie, microelettronica) sono in gran parte iniziative degli Stati membri bottom-up, molto ambiziose in termini di ricerca e innovazione, sostenute da investimenti pubblici e privati, anche dal bilancio dell'UE. Il SAF potrebbe essere molto importante per la creazione di un nuovo IPCEI, con il coinvolgimento degli Stati membri e dei soggetti industriali interessati. La creazione di un'alleanza strategica europea per la SAF sarebbe un'eccellente opportunità per mettere in atto un simile IPCEI.

La panoramica offerta si propone di chiarire le dinamiche di collaborazione tra il regolatore nazionale e il regolatore sovranazionale specificando i rispettivi ambiti operativi. Vengono, inoltre, analizzate misure strumentali all'operato del regolatore nazionale per un corretto esercizio delle funzioni sue proprie.

## Conclusioni

Il progetto opera nell'ambito della transizione sostenibile e della roadmap *Net-zero 2050* dell'Unione Europea, trattando, in particolare, lo studio della decarbonizzazione del settore dell'aviazione, il quale è caratterizzato da una rapida crescita e un'elevata difficoltà nell'individuazione di strategie volte all'abbattimento delle emissioni di pronto impiego. Tale tematica è affrontata a partire dall'analisi tecnico-economica delle diverse opportunità di decarbonizzazione che interessano il settore dalla quale si evince la necessità e la centralità del supporto politico, sia in termini di guida, con una roadmap chiara e di lungo termine, sia in termini di sostegno economico attraverso la redazione di misure ad hoc. Il supporto politico sarà esperito attraverso la collaborazione tra regolatore nazionale e sovranazionale e con l'integrazione degli strumenti da loro forniti.

Nel breve medio periodo l'unica soluzione di decarbonizzazione per il settore aereo che ad oggi risulta percorribile è data dai sustainable aviation fuels, per i quali il progetto propone un'analisi accurata di diversi percorsi produttivi, dello stato d'avanzamento tecnologico, della struttura dei costi e del suo trend evolutivo, e dei meccanismi che caratterizzano il mercato di questi prodotti. Dal punto di vista del mercato, la garanzia di una crescente domanda per i SAF è sancita dalla normativa ReFuelEU Aviation adottata nell'Ottobre 2023, che obbliga i fornitori di carburante per l'aviazione a garantire che tutto il carburante messo a disposizione degli operatori aerei negli aeroporti dell'UE contenga una quota minima di SAF. Tali mandati dovrebbero stimolare la creazione di nuova capacità produttiva e la conseguente riduzione di costo, assolutamente necessario per aumentare la competitività dei SAF rispetto ai carburanti tradizionali. Al momento, la capacità produttiva installata in Europa è in grado di fare fronte alla domanda di SAF nel breve periodo: a livello italiano, ENI ha al momento una capacità installata di circa 1.1 Mt/anno, una capacità programmata di 1.51 Mt/anno e l'obiettivo di moltiplicarla sino a cinque volte entro il 2050. Se da un lato la capacità produttiva non sembra un fattore limitante nel breve-medio periodo, per quanto possano invece esserlo i necessari investimenti per il raggiungimento degli obiettivi del 2050, lo stesso non può essere detto riguardo alla disponibilità di materia prima sostenibile. Il tema dei feedstock non si limita infatti alla mera disponibilità quantitativa ma anche al livello di prezzi: condizione necessaria a mantenere la competitività del settore, sia a livello UE che italiano. Dall'analisi delle più recenti dinamiche di mercato, volte proprio a soddisfare la domanda generata dagli interventi normativi e a superare le frizioni presenti lungo la value chain, è stato formulato un modello delle reti strategiche in ambito SAF. Tale modello, strutturato a partire da evidenze empiriche, mostra come molti dei principali ostacoli che frenano la crescita dell'offerta SAF, come le fluttuazioni dei prezzi dei feedstock, possano essere superati attraverso meccanismi di cooperazione e cospecializzazione funzionali alla

nascita di ecosistemi finalizzati alla produzione di carburanti sostenibili. In questo panorama è stata approfondita la strategia di integrazione verticale adottata da Eni che mira alla minimizzazione dei costi di transazione e fa leva sulla propria presenza in paesi ricchi di risorse. Negli ecosistemi citati un ruolo chiave è svolto anche dai governi che hanno il compito di generare un ambiente favorevole allo sviluppo delle industrie produttrici. Lo strumento a disposizione dei governi per esperire tale funzione è proprio l'intervento normativo. In tale senso il progetto propone un'attenta rendicontazione del quadro normativo sia a livello europeo che italiano, cogliendo oltretutto anche quelli che sono i meccanismi di integrazione tra i due sistemi che vedono una maggior enfasi da parte del regolatore sovranazionale nel garantire la domanda e un ruolo cruciale per il regolatore nazionale nello stimolare la crescita produttiva sul proprio territorio. A valle di tale rendicontazione si procede alla elaborazione di proposte normative volte a stimolare la crescita della produzione e garantire l'introduzione di volumi crescenti di carburanti sostenibili nel settore dell'aviazione. I più interessanti strumenti proposti sono i crediti d'imposta, i contratti per differenza e i contratti per differenza di carbonio. Gli stessi strumenti presentano la duplice finalità di rendere economicamente sostenibile tale business sin da subito e di garantire una stabilità al mercato del prodotto SAF, considerando che gli acquirenti sono le compagnie aeree, le quali sono già esposte ad una complessa struttura dei costi. L'esigenza di sbloccare in maniera tempestiva la produzione di SAF è dettata dal fatto che sarebbe un'azione propedeutica a scongiurare l'accumulo di un ritardo che con il tempo risulterebbe non più colmabile spingendo la nazione in una nuova condizione di dipendenza energetica, sprecando quindi l'opportunità che la transizione ci sta offrendo proprio in questi termini.

## Bibliografia

- Aircraft Technology Net Zero Roadmap 2. [Online]. Disponibile su: [www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org); 2020.
- Airport Council International e Aerospace Technology Institute, “Integration of sustainable aviation fuels into the air transport system”, 2022.
- Alam, Asiful, Md Farhad Hossain Masum, and Puneet Dwivedi. "Break-even price and carbon emissions of carinata-based sustainable aviation fuel production in the Southeastern United States." GCB Bioenergy 13.11 (2021).
- Antonio Barchi et al., «Sustainable Aviation Fuels Stato dell’arte, andamento del mercato e iter legislativo-Report anno 1». (2022).
- APRE; Horizon Europe – La guida (2021).
- Araújo, Renato, and Mário Franco. "The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review." Journal of Cleaner Production 314 (2021).
- ARERA: Quadro strategico 2022-2025 dell’autorità di regolazione per energia reti e ambiente
- Arpit H. Bhatt, Yimin Zhang, Anelia Milbrandt, Emily Newes, Kristi Moriarty, Bruno Klein, Ling Tao. (2022).
- ATI; Our vision for zero-carbon emission air travel (2022).
- Batchelder L, Goldberg F, Orszag P; Efficiency and Tax Incentives: The Case for Refundable Tax Credits (2006).
- Byun, J., Han, J. Strategia economicamente fattibile dei biocarburanti cellulosici: coproduzione di pentandioli. Energia 193, 116797. (2020).
- CAAFI; Aviation’s Market Pull for SAF (Sustainable Aviation Fuel) (2021).
- Camera dei deputati Servizio studi: “La mobilità sostenibile e il trasporto pubblico locale 14 ottobre 2023”.
- Capgemini Invent, «Identifying sustainable pathways for SAF production». (2023).
- Chiamonti, D., Talluri, G., Scarlat, N., & Prussi, M. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 139, 110715. (2021).
- Christine Brown ,Jonathan Dark, Kevin Davis; Exchange Traded Contracts for Difference: Design, Pricing and Effects; (2009) .
- Commission staff working document impact assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport; Brussels, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final.
- CORSIA supporting document CORSIA Eligible Fuels-Life Cycle Assessment Methodology; (2022).
- D. Chiamonti, «Sustainable aviation fuels: The challenge of decarbonization», in Energy Procedia, Elsevier Ltd, (2019).
- Destination 2050: A route to net zero european aviation (report); (2021).
- Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull’alternativa Carburanti / percorsi per l’aviazione: una revisione critica. Energie 2023, 16, 1904.
- Documento di lavoro dei servizi della commissione valutazione di impatto: “Accompagnando la proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sulla garanzia di condizioni di parità per il trasporto aereo sostenibile”; Bruxelles, 14.7.2021 SWD(2021) 633 final .
- Doz Y, Hamel G. Vantaggio dell’Alleanza. Harvard Stampa aziendale: Boston, MA. (1998).
- Eduardo Cabrera e João M. Melo de Sousa, «Use of Sustainable Fuels in Aviation—A Review». (2022).
- Element Energy Sheffield University; Sustainable Aviation Fuel ‘Facilitation Initiative’; GRANT AGREEMENT EASA. (2015).

- Elissavet Emmanouilidou, Sophia Mitkidou, Agapios Agapiou, Nikolaos C. Kokkinos; Solid waste biomass as a potential feedstock for producing sustainable aviation fuel: A systematic review. (2023).
- ENAC: “Sintesi del percorso dell’Enac per la definizione di SAF policy”. (2023).
- ENCA; Italy’s action plan on CO2 emissions reduction (2021).
- Eni fact book 2022.
- Eni for 2022 A just transition.
- Eni, Ambrosetti; Zero Carbon Technology Roadmap (2022).
- Eni, World energy review 2023.
- EU. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2008/98/EC on waste. (2018)
- EUROCONTROL, «Aviation Intelligence Unit Think Paper #10 - 20 April 2021».
- European Commission. ReFuelEU Aviation initiative: Sustainable Aviation Fuels and the ‘fit for 55’ Package. (2022).
- F. Afonso et al., «Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review», Progress in Aerospace Sciences, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 febbraio 2023.
- Florian Egli, Bjarne Steffen, and Tobias Schmidt, “Learning in the Financial Sector Is Essential for Reducing Renewable Energy Costs”, Nature Energy 4, no. 10 (2019).
- Green Fuels Hamburg Plans SAF Production. Renewable Energy Magazine. 28 June 2022.
- Grimme W.; The Introduction of Sustainable Aviation Fuels Challenges and Options. (2023).
- Gulati R. Posizione e apprendimento della rete: l’influenza delle risorse della rete e delle capacità dell’impresa sulla formazione di alleanze. Giornale di gestione strategica 20(5) (1999).
- Gupta, S.K. (Ed.) Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production: Opportunities and Constraints; Academic Press: Amsterdam, The Netherlands, (2015).
- Helleloid, Duane, Nam, Seong-Hyun, Schultz, Patrick, Vitton, J.; The U.S. airline industry in 2015.
- Hugo Algarvio, Fernando Lopes, João Santana, Renewable Energy Support Policy based on Contracts for Difference and Bilateral Negotiation. (2020).
- IATA, “Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)”, (2021).
- IATA: “Policy Net Zero Roadmap”, (2021).
- ICAO, 2019 Environmental Report, 2019°.
- ICAO. Environmental Report. (2022).
- ICAO, Environmental policies on aviation fuels. (2023).
- ICAO, Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of SAF (2023).
- ICAO; SAF production technologies and certification (2023).
- ICCT, The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union, March 2019.
- IEA Bioenergy Task 39, Progress in Commercialization of Biojet /Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, Potential and Challenges, May 2021.
- IEA, “Transport Biofuels – Renewables 2020 – Analysis”, (2020).
- International Energy Agency; Italy 2023 Energy Policy Review; (2023).
- J. A. Okolie et al., «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways», iScience, vol. 26, pag. 106944, (2023).
- J. C. Richstein e K. Neuhoﬀ, «Carbon contracts-for-difference: How to de-risk innovative investments for a low-carbon industry? », iScience, vol. 25, n. 8, ago. (2022).
- J. J. Reimer e X. Zheng, «Economic analysis of an aviation bioenergy supply chain», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77. Elsevier Ltd, (2017).
- J. Richstein: “Project-Based Carbon Contracts: A Way to Finance Innovative Low-Carbon Investment; (2017).
- Jenkins, Scott. "SAF Production Expands for a Low-Carbon Future." Chemical Engineering 129.5 (2022).



- Joel A. C. Baum, Tony Calabrese, Brian S. Silverman; Don't go it alone: alliance network composition and startups' performance in Canadian biotechnology. (2000).
- Jude A. Okolie e other, «Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways». (2023).
- Kalimo, Harri, et al. "Sustain, Filip Sedefov, Ólöf Söebeck and Eleanor Mateo able aviation fuels: common ground for a take-off. IES Policy Brief Issue 2017/05• November 2017." (2017).
- Kang, Yicheng, et al. "Synthetic control methods for policy analysis: Evaluating the effect of the European Emission Trading System on aviation supply." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 162; (2022).
- Kostas Speridakos; SAFslots: Expediting U.S. Leadership in the Future of Jet Fuel Through Air Traffic Incentives; 2020 Building 33 Aviation, LLC. (2022).
- Kristiana Santos, Laurence Delina, Soaring sustainably: Promoting the uptake of sustainable aviation fuels during and post-pandemic, *Energy Research & Social Science*, Volume 77, (2021).
- Kröger, Mats; Neuhoff, Karsten; Richstein, Jörn C.: Contracts for difference support the expansion of renewable energy sources while reducing electricity price risks, *DIW Weekly Report*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 12. (2022).
- ktalley. Implementing NATO's Strategic Concept on China. Atlantic Council, 2 March 2023.
- L. Martinez-Valencia, M. Garcia-Perez, e M. P. Wolcott, «Supply chain configuration of sustainable aviation fuel: Review, challenges, and pathways for including environmental and social benefits», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 152. (2021).
- Laurent Tabernier & Robin Deransy (EUROCONTROL), and Dan Rutherford (ICCT); *Economic Fuel Tankering: A Threat to Aviation decarbonization*. (2022).
- Long, F., Zhang, X., Cao, X., Zhai, Q., Song, Y., Wang, F., Jiang, J., and Xu, J. Mechanism investigation on the formation of olefins and paraffin from the thermochemical catalytic conversion of triglycerides catalyzed by alkali metal catalysts. *Fuel Process. Technol.* (2020).
- Lucas G. Pereira, Heather L. MacLean, Brad A. Saville; *Financial analyses of potential biojet fuel production technologies*. (2017).
- M. Adler, B. Peerlings, T. Boonekamp, E.S. van der Sman, M.N.A. Lim, A. Jongeling, S. Pel, *SEO amsterdam economics, Report: The Price of Net Zero : Aviation Investments towards Destination 2050*. (2023).
- M. Lindner, J. Rosenow, S. Förster, H. Fricke, Potential of integrated flight scheduling and rotation planning considering aerodynamic-, engine- and mass- related aircraft deterioration, *CEAS Aeronaut.* (2019).
- M. Shehab, K. Moshammer, M. Franke, e E. Zondervan, «Analysis of the Potential of Meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel Targets in 2030 and 2050», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n. 12, giu. 2023.
- MIMS; *Decarbonizzare i trasporti Evidenze scientifiche e proposte di policy*; Aprile 2022.
- Ministero della transizione ecologica; *Strategia nazionale per l'economia circolare*. (2022).
- Mission Possible Partnership, «Making net-zero aviation possible an industry-backed, 1.5°c-aligned transition strategy, aviation transition strategy / july 2022». (2022).
- Panoutsou, K.C. Maniatis. *Sustainable Biomass Availability in the EU, to 2050*. (2021).
- Prussi et al. *Algae to aviation fuel: an estimation of the GHG emission performance*. EUBCE. (2021).
- Prussi M., Panoutsou C., and Chiaramonti D.; *Applied Sciences, Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand* (2022).
- Prussi, M., O'connell, A., & Lonza, L.; *Analysis of current aviation biofuel technical production potential in EU28*. *Biomass and Bioenergy*. (2019).

- Prussi, M.; Panoutsou, C.; Chiaramonti, D. Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand. *Appl. Sci.* (2022).
- Public-private partnerships value in bioenergy projects: Economic feasibility analysis based on two case studies Fantozzi F, Bartocci P, [...], Manos BBiomass and Bioenergy (2014).
- Rapporto dell'UFAC sulla promozione dello sviluppo e dell'utilizzo di carburanti sostenibili per l'aviazione. (2022).
- ReFuelEU Aviation 2021/0205 (COD) LEX 2265., (2023).
- RefuelEU: Policy considerations: Overview. (2022).
- Regolamento del parlamento europeo e del consiglio sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile (RefuelEU Aviation); PE-CONS 29/23. (2023).
- Regolamento del parlamento europeo e del consiglio sulle obbligazioni verdi europee e sull'informativa volontaria per le obbligazioni commercializzate come obbligazioni ecosostenibili e per le obbligazioni legate alla sostenibilità; Bruxelles, 11 ottobre 2023.
- Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation). (2023).
- Reimer, Jeffrey J., and Xiaojuan Zheng. "Economic analysis of an aviation bioenergy supply chain." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (2017).
- Rilling, V. Anatolitis and L. Zheng, "How to design Carbon Contracts for Difference - A systematic literature review and evaluation of design proposals," 2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM), Ljubljana, Slovenia, 2022.
- S. Bravo Melgarejo e E. Malavolti, «Do airlines adopt sustainable aviation fuels under modal competition?». (2023).
- Stato delle iniziative per la decarbonizzazione del settore Aprile 2023\_GT.
- S. Searle, N. Pavlenko, A. Kharina, and J. Giuntoli. Long-term aviation fuel decarbonization: Progress, (2019).
- Schennings, Andreas; Larsson, Joel; Robèrt, Markus; Development and implementation of an emission optimization model for passenger flight bookings. (2019).
- Seyedesmaeil Mousavi, Bart Bossink, Corporate-NGO partnership for environmentally sustainable innovation: Lessons from a cross-sector collaboration in aviation biofuels, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 34, (2020).
- Shahriar, Md Fahim, and Aaditya Khanal. "The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF)." *Fuel* 325 (2022).
- Shams Esfandabadi, Z.; Ranjbari, M.; Scagnelli, S.D. The imbalance of food and biofuel markets amid Ukraine-Russia crisis: A systems thinking perspective. *Biofuel Res. J.* (2022).
- Simshauser, P. On the Stability of Energy-Only Markets with Government-Initiated Contracts-for-Differences. *Energies* (2019).
- SkyNRG; Summary Report – Sustainable Aviation Fuel Market Outlook 2023; (2023).
- T. Kistan, A. Gardi, R. Sabatini, S. Ramasamy, E. Batuwangala, An evolutionary outlook of air traffic flow management techniques, *Prog. Aerosp. Sci.* 88 (2017).
- The Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK); The new EU climate target will increase carbon prices and could phase out coal power in Europe as early as 2030. (2021).
- The White House; Building a clean energy economy: a guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action; January 2023, version 2. (2023).
- Timo Gerres, Pedro Linares; Carbon Contracts for Differences (CCfDs) in a European context; REPORT, JUNE 2022. (2022)
- V. Undavalli et al., «Recent advancements in sustainable aviation fuels», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 136. Elsevier Ltd, gennaio 2023.

- Wang, Z. Juju, et al. "Quantitative policy analysis for sustainable aviation fuel production technologies." *Frontiers in Energy Research* 9 (2021).
- Y. Xu, R. Dalmau, M. Melgosa, A. Montlaur, X. Prats, A framework for collaborative air traffic flow management minimizing costs for airspace users: Enabling trajectory options and flexible pre-tactical delay management, *Transp. Res. B* 134 (2020) 229–255, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2020.02.012>.
- Afuah, Allan. "How much do your co-opetitors' capabilities matter in the face of technological change?." *Strategic management journal* 21.3 (2000).
- Alice De Robbio; Scelte cooperative fra agenti in una supply chain; (2021)
- Bauen, Ausilio; Bitossi, Niccolò; German, Lizzie; Harris, Anisha; Leow, Khangzhen; Sustainable Aviation Fuels : Status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation. (2020).
- D. Grimsey e M. K. Lewis, «Are Public Private Partnerships value for money?: Evaluating alternative approaches and comparing academic and practitioner views», *Accounting Forum*, vol. 29, n. 4, pagg. 345–378, (2005).
- Detsios, N.; Teodoraki, S.; Maragoudaki, L.; Atsonios, K.; Grammelis, P.; Orfanoudakis, NG Recenti progressi sull'alternativa Carburanti / percorsi per l'aviazione: una revisione critica. *Energie* (2023).
- *Energy Conversion and Management*, Volume 275, 2023.
- ICAO, Environmental policies on aviation fuels. (2023).
- JaanSoone and Eulalia Claros Members' Research Service; PE 729.333 - March 2022 EPRS | European Parliamentary Research Service. (2022)
- Kostas Speridakos; SAFslots: Expediting U.S. Leadership in the Future of Jet Fuel Through Air Traffic Incentives; 2020 Building 33 Aviation, LLC.
- Yicheng Kang, Sha Liao, Changmin Jiang, Tiziana D'Alfonso; Synthetic control methods for policy analysis: Evaluating the effect of the European Emission Trading System on aviation supply. (2022).