



Corso di laurea in Strategic Management

CATTEDRA: Sustainable Strategies for Business Leaders

Sustainable Aviation Fuels:
Valutazione Normativa e Prospettive di
Mercato per raggiungere una Trasformazione
Sostenibile nell'Industria dell'Aviazione

Prof. Riccardo Giovannini

RELATORE

Prof. Daniele Mascia

CORRELATORE

Lorenzo Palange

764451

CANDIDATO

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

EXECUTIVE SUMMARY	I
CAPITOLO PRIMO: INTRODUZIONE SUI SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)	1
1.1 COSA SONO I SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF) E A COSA SERVONO.....	1
1.2 SAF E BIOMASSA	2
1.2.1 DLUC e ILUC	4
1.3 ECONOMIA CIRCOLARE NEL CONTESTO DEI SAF	6
1.4 STANDARDS TECNICI	7
1.5 COME SI PRODUCONO I SAF	9
1.5.1 Unità Autonome vs Co-Processing	9
1.5.2 Processi Produttivi	9
1.5.3 Power-to-Liquid	12
1.6 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE ED INFRASTRUTTURALI NEL LUNGO PERIODO	13
1.7 PERCORSI DI MITIGAZIONE CLIMATICA	13
CAPITOLO SECONDO SCREENING NORMATIVO	17
2.1 EVOLUZIONE DEL “FIT FOR 55” ED OBIETTIVI DI DECARBONIZZAZIONE.....	17
2.1.1 Energia Rinnovabile.....	18
2.1.2 Emissioni di gas serra	20
2.1.3 Emissioni nel settore dei trasporti.....	21
2.1.4 Emissioni risultanti da attività connesse all’uso del suolo	23
2.1.5 Sistema di scambio delle quote di emissione.....	24
2.1.6 Sostegno finanziario e amministrativo	25
2.2 REFUEL EU AVIATION	26
2.2.1 Contesto e campo d’applicazione	26
2.2.2 Target e obblighi degli operatori	27
2.2.3 Tempistiche	30
2.3 CORSIA	31
2.3.1 Contesto e campo d’applicazione	31
2.3.2 Target	34
2.3.3 Periodo transitorio/obbligatorio	36
2.3.4 Requisiti principali.....	39
2.3.5 CORSIA in Europa	41

CAPITOLO TERZO: SCHEMI VOLONTARI DI CERTIFICAZIONE	42
3.1 ISCC.....	42
3.1.1 ISCC EU	44
3.1.2 ISCC CORSIA.....	45
3.1.3 ISCC Japan FIT (Feed-in-Tariff)	45
3.1.4 ISCC PLUS.....	45
3.1.5 Loghi ISCC	45
3.2 RSB.....	47
3.2.1 Framework di sostenibilità.....	47
3.2.2 I “12 Principi e Criteri” di RSB	48
3.2.3 Schemi di certificazione RSB	49
3.2.3.2 RSB Global Advanced Products Certification.....	51
3.2.3.3 RSB EU RED Fuel Certification	51
3.2.3.4 RSB CORSIA Certification	52
3.2.3.5 RSB Japan FIT (Biomass) Certification	52
3.3 2BSvs	53
 CAPITOLO QUARTO: ANALISI DEI PRINCIPALI FEEDSTOCK	 54
4.1 USED COOKING OIL (UCO).....	54
4.1.1 Descrizione	54
4.1.2 Provenienza.....	54
4.1.3 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità	56
4.1.4 Market overview	57
4.2 PALM OIL MILL EFFLUENT (POME).....	58
4.2.1 Descrizione	58
4.2.2 Provenienza.....	59
4.2.3 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità	61
4.2.4 Market overview	62
4.3 GRASSI ANIMALI	63
4.3.1 Descrizione e classificazione	63
4.3.2 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità	65
4.3.3 Market Overview	66

CAPITOLO QUINTO: ANALISI DEL MERCATO DEI SUSTAINABLE AVIATION FUEL	70
5.1 DOMANDA.....	70
5.2 OFFERTA	73
5.3 ANALISI DEI COSTI.....	79
5.3.1 Costi di produzione: confronto tra processi produttivi.....	79
5.3.2 Costi di produzione all'interno della catena del valore (HEFA vs PtL)	81
5.3.3 Confronto dei prezzi tra carburante per l'aviazione sostenibile e fossile.....	85
5.4 PRINCIPALI ATTORI DEL MERCATO	87
5.4.1 Neste Oyj	87
5.4.2 Gevo.....	89
5.4.3 Shell Global	90
5.4.4 TotalEnergies	92
5.5 BARRIERE E STRATEGIE DI MERCATO.....	93
CAPITOLO SESTO: CONCLUSIONI.....	97
6.1 SWOT ANALYSIS	97
6.2 OPPORTUNITÀ DI INVESTIMENTO NEL CAMPO DEI SAF	99
6.3 CONSIDERAZIONI FINALI.....	100
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	102

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente studio esplora il tema dei carburanti sostenibili per l'aviazione, noti come Sustainable Aviation Fuels (SAF), con l'obiettivo di analizzare la loro rilevanza nel contesto della crescente attenzione per la sostenibilità nell'industria dell'aviazione. Il documento offre una panoramica introduttiva sui SAF, partendo dalla definizione e dall'importanza di questi biocarburanti nel ridurre le emissioni di gas serra dell'aviazione. Nel 2022 l'uso dei SAF ha raggiunto i 300 milioni di litri, triplicando rispetto ai 100 milioni del 2021. L'industria dell'aviazione, responsabile del 2% delle emissioni globali di CO₂ nel 2022, punta a raggiungere emissioni nette zero entro il 2050.

Successivamente, viene esplorato il contesto normativo dei SAF, analizzando il pacchetto "Fit for 55" dell'Unione Europea, il quale mira a ridurre le emissioni di gas serra del 55% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030. In aggiunta, viene effettuata una panoramica del regolamento ReFuelEU Aviation - che stabilisce un obbligo di miscelazione progressiva dei SAF, partendo dallo 0,5% nel 2025 fino al 5% nel 2030 - e del sistema Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), adottato dall'ICAO.

Il documento esamina anche i principali schemi volontari di certificazione, quali ISCC, RSB e 2BSvs, analizzando il loro ruolo cruciale nel garantire la conformità alle normative e agli standard internazionali dei carburanti sostenibili per l'aviazione, assicurando tracciabilità e trasparenza lungo tutta la filiera produttiva.

Un'analisi approfondita dei principali feedstock utilizzati nella produzione di SAF, tra cui olii da cucina esausti (UCO), Palm Oil Mill Effluent (POME) e grassi animali, rivela la crescita significativa del mercato delle materie prime impiegate in questo settore, grazie alle loro molteplici caratteristiche di sostenibilità. Per quanto riguarda il mercato degli UCO, ad esempio, alcune proiezioni indicano il raggiungimento di una valutazione di mercato complessiva pari a 11,6 miliardi di dollari nel 2032, con un CAGR del 6,4% tra il 2022 e il 2032.

Inoltre, si procede con uno studio esaustivo del mercato dei Sustainable Aviation Fuel, volta a indagare gli attuali e futuri comportamenti della domanda globale, nonché le caratteristiche e le limitazioni dell'offerta, insieme ai costi di produzione lungo l'intera filiera. Il confronto tra i processi produttivi Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) e Power-to-Liquid (PtL) evidenzia la consolidata maturità tecnologica del primo, connessa a una maggiore efficienza operativa. Tuttavia, è il progresso nelle tecnologie emergenti, come il PtL, che si prevede possa innalzare i livelli di produzione di biocarburante, conformandoli agli obiettivi di sostenibilità del settore. Attualmente, il processo PtL si colloca ancora in una fase di sviluppo rispetto al consolidato HEFA, manifestando costi del carburante superiori di 2 a 9 volte rispetto al combustibile fossile tradizionale.

Infine, all'interno del capitolo conclusivo, lo studio fornisce un'analisi SWOT dei SAF, esplorando le opportunità di investimento e fornendo considerazioni finali sulle prospettive future dei SAF. Vengono discusse le strategie di mercato e le principali barriere all'adozione su larga scala, evidenziando il potenziale dei SAF nel contribuire a un'aviazione più sostenibile. La crescita significativa della produzione di SAF e l'evoluzione delle politiche di sostenibilità rappresentano passi fondamentali verso il raggiungimento degli obiettivi climatici globali.

CAPITOLO PRIMO

INTRODUZIONE SUI SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)

L'industria dell'aviazione si trova al centro di una crescente consapevolezza ambientale, caratterizzata dalla necessità di mitigare le emissioni di gas serra. In questo contesto, i Sustainable Aviation Fuel (SAF) e i Low Carbon Aviation Fuel (LCAF) emergono come un vettore energetico chiave per trasformare in modo sostenibile il settore dell'aviazione.

Come segnalato da IATA (International Air Transport Association), l'utilizzo dei SAF affonda le sue radici nel 2008, anno in cui Virgin Atlantic ha effettuato il primo volo di prova utilizzando carburanti sostenibili in alternativa a quelli tradizionali. Da allora, sono stati raggiunti traguardi importanti, inclusi gli oltre 2.500 voli commerciali passeggeri con miscele di biocarburanti tra il 2011 e il 2015. A seguire, nel 2016, Oslo Airport ha iniziato a fornire regolarmente carburante sostenibile tramite il sistema idrante comune. L'anno successivo, United è diventata la prima compagnia aerea a introdurre i SAF nelle operazioni quotidiane. Il 2022 è stato un anno di notevole crescita della produzione di SAF, triplicando a 300 milioni di litri rispetto ai 100 milioni del 2021. Infine, nel giugno del 2023, IATA ha introdotto diverse strategie miranti al raggiungimento dell'obiettivo net-zero entro il 2050, in cui è compresa l'adozione di Sustainable Aviation Fuels. Infine, nel mese di ottobre dello stesso anno, l'Unione Europea ha approvato la legislazione denominata ReFuelEU Aviation, imponendo ai fornitori di carburante per l'aviazione di miscelare crescenti quantità di SAF con il cherosene.

Nei prossimi paragrafi verranno esplorati i concetti principali per comprendere la natura dei SAF, il loro ciclo produttivo e quindi il ruolo cruciale che rivestono nella mitigazione del cambiamento climatico.

1.1 COSA SONO I SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF) E A COSA SERVONO

I Sustainable Aviation Fuel (SAF), noti anche come biocarburanti per aviazione, rappresentano una risposta innovativa alla sfida ambientale dell'industria dell'aviazione, contribuendo a ridurre notevolmente le emissioni di gas serra. L'esplorazione del tema parte definendo chiaramente cosa sono questi combustibili e come si collocano nell'ambito delle soluzioni sostenibili per il trasporto aereo.

Il settore aereo, responsabile di circa il 2% delle emissioni globali di anidride carbonica nel 2022 [16], si è posto l'ambizioso obiettivo di raggiungere emissioni nette zero entro il 2050, focalizzando i propri sforzi principalmente sulla riduzione delle emissioni alla fonte. Questo obiettivo ambizioso può essere conseguito principalmente attraverso tre percorsi:

1. **Riduzione delle emissioni legate alla combustione dei carburanti aerei.** Ciò può essere realizzato sostituendo gradualmente i combustibili fossili attualmente impiegati con quote sempre crescenti di carburanti sostenibili.
2. **Compensazione delle emissioni di CO₂.** Questa strategia implica l'implementazione di attività di mitigazione ambientale da parte degli operatori, specialmente nei settori in cui è difficile eliminare completamente o significativamente le emissioni di carbonio. I programmi di compensazione possono includere interventi come la forestazione, la sostituzione delle fonti energetiche tradizionali con rinnovabili e l'efficientamento energetico. Le aziende possono compensare le loro emissioni investendo direttamente in progetti di mitigazione oppure negoziando crediti di carbonio sul mercato. [3]. Sebbene questo aspetto verrà approfondito dettagliatamente in seguito, è importante comprendere che questa pratica

consente alle aziende e gli operatori di compensare le emissioni residue che non possono essere ridotte nelle loro attività ordinarie.

3. **Cattura e stoccaggio della CO₂ (Carbon Capture Utilization and Storage - CCUS).** Sono processi che consentono la diretta rimozione della CO₂ dall'atmosfera, seguita dal suo riutilizzo (Carbon Capture Usage - CCU) o stoccaggio (Carbon Capture Storage - CCS). Come illustrato da ENI, la CO₂ catturata, liberata dalle impurità, può essere “riutilizzata come materia prima in altri processi produttivi” o “immagazzinata a grandi profondità sotterranee, rimanendovi intrappolata per sempre” [4].

In relazione agli sforzi intrapresi dal settore dell'aviazione per ridurre le emissioni, emerge l'importanza dei carburanti sostenibili per l'aviazione. Tuttavia, è cruciale distinguere tra i carburanti sostenibili per l'aviazione (SAF) e i carburanti per aviazione a basse emissioni di carbonio (LCAF). Secondo l'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO) e il programma CORSIA, i SAF sono definiti come combustibili per l'aviazione provenienti da fonti rinnovabili o da rifiuti. I LCAF, d'altro canto, sono carburanti fossili con basse emissioni di carbonio che soddisfano specifici criteri di sostenibilità[5]. Data questa distinzione fondamentale, il presente studio si concentrerà sui carburanti sostenibili per l'aviazione.

1.2 SAF E BIOMASSA

Il principale vantaggio dei SAF sui combustibili fossili si nota proprio durante la fase di combustione, ovvero nel momento in cui il biossido di carbonio rilasciato dai carburanti sostenibili risulta pressoché pari alla quantità di CO₂ assorbita dalla vegetazione durante la crescita della biomassa¹. Un processo di questo tipo, dunque, garantirebbe approssimativamente l'equilibrio tra CO₂ emessa e compensata. Nonostante ci siano una serie di emissioni derivanti dalla produzione e dal trasporto dei SAF, il lifecycle di questi ultimi promette di garantire una riduzione delle emissioni complessive dell'80% rispetto al lifecycle dei combustibili fossili (Figura 1) [6][12].

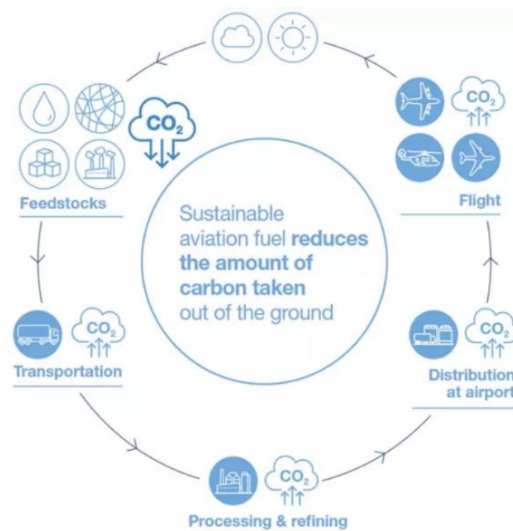


Figura 1 – Lifecycle dei SAF

FONTE: Airbus

¹ “Con i termini biomasse o bioenergie si indicano una serie di materiali di origine biologica. Si tratta generalmente di scarti di attività agricole che possono essere modificati attraverso vari procedimenti, per ricavarne combustibili o direttamente energia elettrica e termica, come ad esempio legna da ardere o altri tipi di rifiuti organici, piante, alghe marine ed altri scarti”. [19]

La biomassa è infatti l'elemento fondamentale alla base dei SAF. A tal proposito, è possibile classificare i carburanti derivanti da biomassa, sulla base della fonte utilizzata per la produzione. Tale classificazione è comunemente suddivisa in quattro generazioni di biomassa:

1. **Biomassa di prima generazione (biomassa commestibile).** Materie prime come zuccheri e trigliceridi vengono utilizzate per produrre bioetanolo e biodiesel. Altri feedstocks² includono mais, orzo, patate e barbabietole da zucchero per la produzione di bioetanolo e oli vegetali come colza e soia per il biodiesel.
2. **Biomassa di seconda generazione (biomassa non commestibile).** Comprende materie prime come lignocellulosa, scarti agricoli, olii esausti e rifiuti urbani. Il suo utilizzo riguarda sia la produzione di carburanti, sia quella di prodotti chimici e fertilizzanti.
3. **Biomassa di terza generazione.** Le alghe sono la principale fonte per questa tipologia di biomassa, capace di offrire alte rese e minore consumo di risorse. Sia le microalghe che le macroalghe vengono coltivate per produrre biodiesel e trovano applicazioni in vari settori industriali.
4. **Biomassa di quarta generazione.** Quest'ultima categoria comprende gli attuali studi sulla ricerca di materie prime geneticamente modificate, principalmente focalizzata sulle microalghe. La ricerca mira a migliorare l'efficienza della fotosintesi e a ridurre le emissioni di carbonio nell'atmosfera.

Considerando questa categorizzazione, è fondamentale osservare come i SAF derivati dalla biomassa di prima generazione, ovvero da biomassa commestibile, possano interferire con l'approvvigionamento alimentare. Ciò deriva dalla sovrapposizione delle materie prime utilizzate sia per la produzione di carburante che per quella di alimenti. A tal proposito, è rilevante notare che le legislazioni a livello europeo permettono la produzione di SAF esclusivamente a partire da rifiuti, a differenza di quanto accade, ad esempio, negli Stati Uniti.

Inoltre, le biomasse saranno impiegate anche per sostenere la produzione di biocarburanti destinati al settore del trasporto su strada, e quindi non saranno sufficienti a soddisfare l'intera domanda del settore dei trasporti. Per questo motivo, l'industria dell'aviazione punterà in maniera significativa sulla tecnologia del Power-to-Liquid (PtL).

² Materie prime.

1.2.1 DLUC e ILUC

In relazione al tema della biomassa di prima generazione – la cosiddetta biomassa commestibile - si apre una problematica riguardo al circolo vizioso che si genera durante il processo di produzione dei biocarburanti, ovvero il rapporto tra Direct Land Use Change (DLUC) – quando le produzioni sui terreni agricoli esistenti vengono convertite per coltivare i materiali di base per i biocarburanti – e Indirect Land Use Change (ILUC) – quando, a seguito della conversione di terreni agricoli preesistenti per coltivare feedstock destinati ai biocarburanti, si rende necessaria la ricerca di altri terreni non agricoli, che vengono poi trasformati per coltivare cibo[20][21][24].

La Figura 2 illustra graficamente le differenze tra i processi DLUC e ILUC appena esposti.

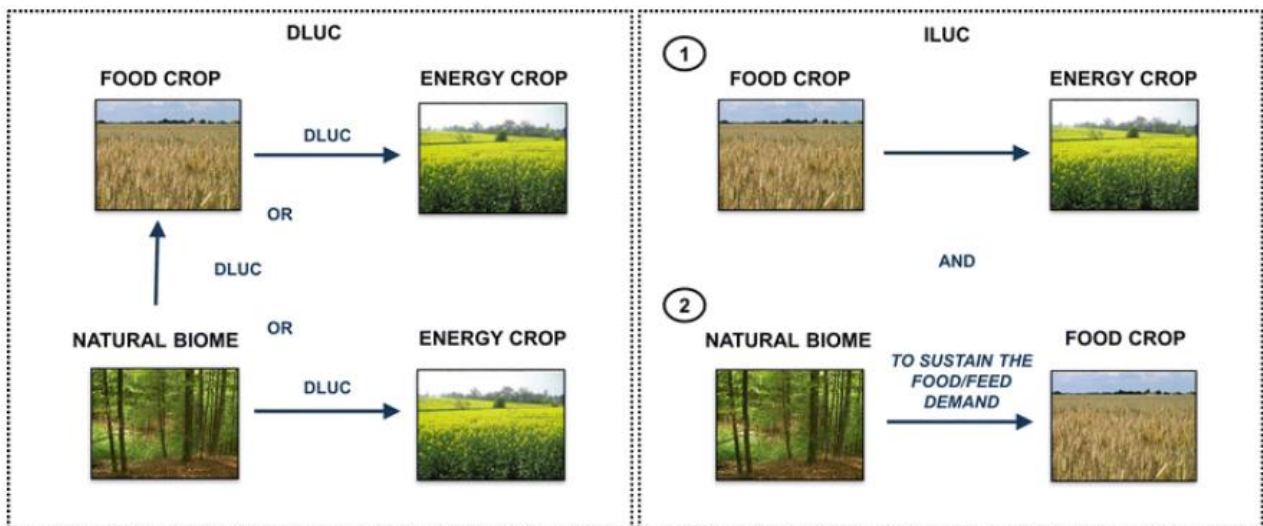


Figura 2 – Direct and Indirect Land-Use Change

FONTE: ResearchGate

La principale causa di questo meccanismo risiede nella crescente domanda mondiale di biofuel. Laddove la domanda venisse soddisfatta esclusivamente tramite l'utilizzo e la trasformazione di biomassa presente in aree già coltivate (DLUC), allora non sorgerebbe una problematica. Tuttavia, risulta molto complesso rispondere all'aumento del fabbisogno globale di biofuels limitandosi al DLUC. Di conseguenza, i produttori di biofuels trovano la necessità di utilizzare per i loro scopi produttivi la biomassa che, altrimenti, sarebbe stata destinata a fini alimentari.

Questo processo genera un dibattito fra due schieramenti: i sostenitori dei biocarburanti, e gli oppositori. Questi ultimi affermano da un lato che questo processo contribuisca, in maniera eccessiva, a colpire l'offerta mondiale di cibo, a fronte di una sempre maggiore domanda (anche dovuta all'aumento demografico); dall'altro, che questo processo, avviatosi nel 2010, abbia generato più emissioni anziché ridurle (Figura 3) [23].

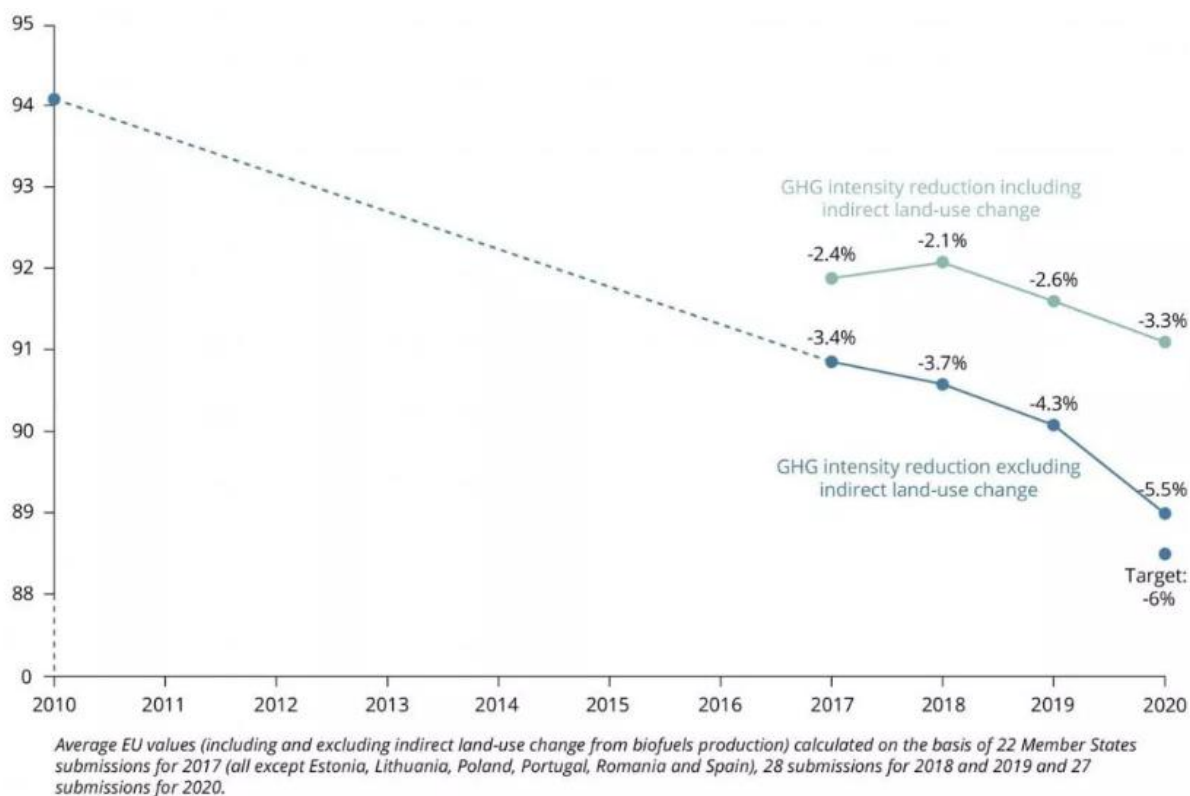


Figura 3 - Media dell'intensità dei gas serra dei carburanti per il trasporto stradale nell'UE, 2010-2020. Grammi di anidride carbonica equivalente per megajoule di energia prodotta (CO₂e/Mj)

FONTE: La Stampa

Ad oggi non esiste una risposta unica a questo dibattito. Certamente alcune organizzazioni stanno lavorando per affrontare questa problematica e sviluppare politiche e regolamenti adeguati, ma ognuna di queste strategie dovrà essere adattata ai singoli contesti locali.

1.3 ECONOMIA CIRCOLARE NEL CONTESTO DEI SAF

Nell'ambito della ricerca e dello sviluppo di alternative sostenibili nel settore dell'aviazione, uno degli aspetti più interessanti e promettenti dei Sustainable Aviation Fuels è la loro stretta connessione con i principi dell'economia circolare. La loro produzione non si basa esclusivamente su risorse vergini o su materie prime tradizionali, bensì utilizza una vasta gamma di feedstocks, compresi rifiuti organici e scarti industriali - oli vegetali esausti, grassi animali, oli di alghe, residui agricoli e forestali, nonché rifiuti organici provenienti da processi industriali e municipali - che altrimenti finirebbero in discarica o verrebbero bruciati.

L'economia circolare, definita dal Parlamento Europeo come "un modello di produzione e consumo che prevede la condivisione, il noleggio, il riutilizzo, la riparazione, la ristrutturazione e il riciclo di materiali e prodotti esistenti per il maggior tempo possibile[52]", punta a minimizzare lo sfruttamento delle risorse naturali, a ridurre al minimo la produzione di rifiuti e ad estendere il ciclo di vita dei prodotti.

Proprio in quest'ottica si colloca il processo di produzione dei Sustainable Aviation Fuels che parte dalla lavorazione e dal trattamento dei rifiuti solidi urbani (Figura 4).

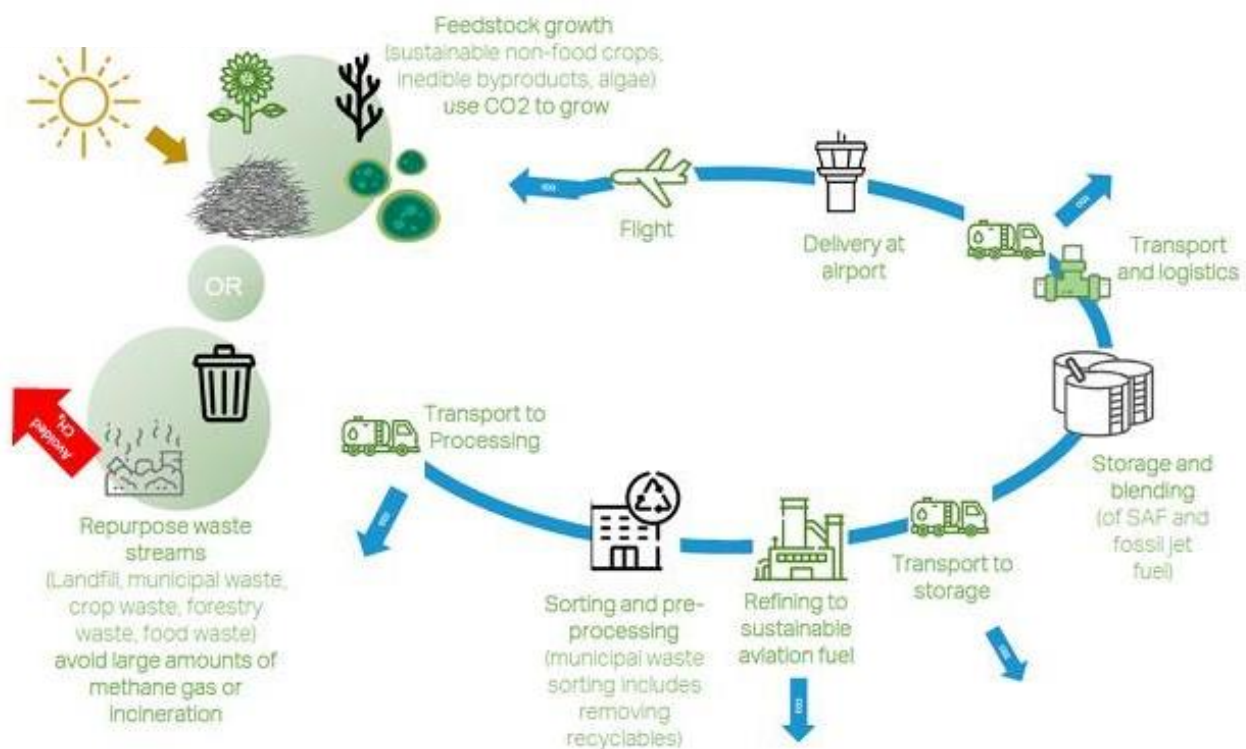


Figura 4 – Diagramma del ciclo del carbonio – SAF

Fonte: IATA

Secondo il report di Roland Berger “*Circular SAF*”[51], l’espressione Waste-to-SAF (WtS) descrive le “*tipologie di SAF prodotte da feedstock di scarto.*”

Come accennato in precedenza, ciascuna categoria di feedstock richiede un processo di lavorazione specifico. Ad esempio, gli scarti di oli vegetali e grassi sono trasformati mediante processi HEFA, mentre i residui agricoli o forestali vengono convertiti in carburante sostenibile attraverso il processo Fischer-Tropsch (FT). Questa diversificazione dei processi riflette la varietà delle risorse disponibili e l’importanza di adattare le tecniche di produzione per massimizzare l’efficienza e la sostenibilità del carburante ottenuto da ciascuna fonte di materia prima.

L’approccio WtS, dunque, offre una serie di vantaggi, sia per l’industria dell’aviazione che per l’ambiente nel suo complesso. Utilizzando specifici tipi di rifiuti come materie prime per la produzione di carburante, si riduce la quantità complessiva di rifiuti da gestire e smaltire in discarica, mitigando così le emissioni di CO₂ e metano associate a tali siti. Inoltre, l’adozione di carburanti derivati da processi WtS contribuisce a ridurre le emissioni legate all’estrazione dei combustibili fossili. Da non sottovalutare è anche il fatto che i carburanti ottenuti dalla biomassa possono essere considerati “net-zero”, poiché la CO₂ emessa durante la loro combustione viene compensata dall’assorbimento di carbonio durante la crescita della biomassa stessa.

Tuttavia, è fondamentale effettuare una distinzione su quali rifiuti possono effettivamente essere considerati idonei per il processo di WtS, e quali invece non lo sono. Nella prima categoria rientrano i cosiddetti “*materiali biologici organici, oli e grassi biologici di scarto e flussi di scarti industriali.*”. Ciò che invece non si qualifica come WtS riguarda tutti i rifiuti di plastica solidi. Infatti, anche se la conversione di questi ultimi in carburanti per l’aviazione è tecnicamente possibile, le emissioni associate alla loro combustione potrebbero essere evitate completamente attraverso il riciclo, mantenendo così il carbonio “bloccato”.

1.4 STANDARDS TECNICI

Dal punto di vista tecnico, affinché un carburante possa essere impiegato come carburante Jet A e Jet A-1 per motori a turbina³, esso deve soddisfare specifici requisiti stabiliti da standard internazionali, considerando che un aeromobile può rifornirsi in Paesi diversi. Due tra i più noti standard sono l’American Society for Testing Materials (ASTM) D1655[30] e lo UK Defence Standard (DEF STAN) 91-91[8]. In particolare, l’ASTM D1655 stabilisce le proprietà minime che un carburante deve possedere per essere utilizzato in aeromobili civili e militari, garantendo la compatibilità a seguito della sua miscelazione. Tra queste troviamo: “*composizione, volatilità, fluidità, combustione, corrosione, stabilità termica, contaminanti e additivi, tra gli altri, per garantire che il carburante sia compatibile quando miscelato*” [30].

³ “*In campo civile, il combustibile utilizzato per il funzionamento dei motori a turbina è il Jet A-1, noto come “cherosene” e adatto alla maggior parte dei velivoli a reazione. Il Jet A1 risponde a severi requisiti internazionali, come lo Standard britannico Def Stan 91-91, lo Standard ASTM D1655 e le specifiche F-35 della Nato. Ha un punto di infiammabilità minimo di 38°C e un punto di congelamento massimo di -47°C.*” [25]

Come illustrato nella Figura 5, il processo di produzione dei SAF – dettagliatamente descritto nel paragrafo successivo - parte da cinque gruppi di feedstock o materie prime[14]:

1. Olii e grassi
2. Zucchero e cereali
3. Rifiuti solidi urbani
4. Legno e residui agricoli
5. Energia rinnovabile e carbonio



Figura 5 – I cinque principali gruppi di materie prime impiegate per la produzione di SAF

FONTE: Air bp

L'analisi delle diverse categorie di materie prime (feedstock), trattate attraverso tecnologie e processi differenziati per la produzione di Sustainable Aviation Fuel (SAF), enfatizza l'importanza dello standard ASTM D7566 [31]. Questo standard disciplina le certificazioni tecniche dei SAF, delineando le tecnologie idonee e obbligatorie per la trasformazione dei diversi feedstock in SAF, nonché specificando le circostanze in cui tali tecnologie devono essere applicate. Una volta completati i trattamenti necessari all'interno delle bio-raffinerie, conformemente ai requisiti dell'ASTM 7566, il SAF così ottenuto può essere mescolato con il tradizionale carburante fossile in una percentuale massima del 50% [14].

A seguito della miscelazione con una specifica percentuale di carburanti fossili, qualora il combustibile risultante soddisfi tutti i requisiti di certificazione, passando attraverso una serie di fasi di verifica, allora sarà nuovamente certificato secondo lo standard ASTM D1655. Questo processo agevola la classificazione della miscela risultante dalla combinazione di SAF e carburante convenzionale come combustibile Jet A e Jet A-1.

Tuttavia, nonostante l'evidente importanza dei SAF nel conseguimento degli obiettivi globali di sostenibilità, la loro produzione è ancora fortemente limitata.

1.5 COME SI PRODUCONO I SAF

La produzione dei SAF non è soltanto una questione di carburanti alternativi, ma anche di processi tecnici che sfruttano materie prime rinnovabili. Questa sezione del capitolo si concentrerà sui diversi metodi di produzione dei SAF, dalle biomasse avanzate alle tecnologie di sintesi innovative.

1.5.1 Unità Autonome vs Co-Processing

Ad oggi, esistono due strade percorribili in tema di processi produttivi dei SAF: l'utilizzo di impianti autonomi e il co-processing.

Il SAF prodotto in impianti autonomi, noto come cherosene sintetico (synthetic kerosene - SK), consente di essere in compliance con lo standard ASTM D7566. Successivamente, il SK può essere miscelato fino al 50% con il carburante fossile convenzionale, e infine può essere nuovamente certificato secondo l'ASTM D1655. Tuttavia, il numero di impianti di questo tipo è ancora limitato a livello globale e, la costruzione di tali unità rappresenta un ingente impegno in termini di tempo e soprattutto di costi.

Al contrario, la produzione di SAF attraverso il co-processing consente di sfruttare le 825 raffinerie presenti in tutto il mondo [31] per co-processare fino al 5% di materie prime rinnovabili approvate. Questo implica che i feedstock sostenibili vengano lavorati insieme alle materie prime fossili direttamente all'interno delle raffinerie esistenti.

Nel confrontare le due opzioni disponibili, è cruciale evidenziare che, sebbene le standalone units abbiano la capacità di produrre Sustainable Aviation Fuels al 100% rinnovabili, ne derivano costi e tempistiche di costruzione notevoli. D'altro canto, il co-processing delle materie prime sostenibili all'interno delle raffinerie esistenti evita l'impegno finanziario e temporale legato alla creazione ex-novo di impianti dedicati. Nonostante gli sforzi volti ad aumentare la quantità di feedstocks sostenibili da co-processare all'interno delle raffinerie esistenti, il 5% attuale potrebbe rivelarsi un valore forse troppo limitato per soddisfare la crescente domanda globale di SAF.

1.5.2 Processi Produttivi

All'interno dello standard ASTM D7566 sono stati delineati sette percorsi tecnologici (technology pathways) per la sintesi del cherosene sintetico (synthetic kerosene - SK). Nella Figura 6 sono presenti il nome della tecnologia, l'annex correlato dello standard ASTM D7566, i feedstocks che possono essere trattati attraverso la tecnologia specifica, e la massima percentuale di miscelazione consentita del SAF risultante con i tradizionali carburanti fossili.

Technology	Common name	D7566 Annex	Feedstock	Max % in final product
Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT-SPK	A1	Waste CO ₂ and renewable power. Municipal solid waste. Agricultural waste / waste wood.	50
Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA SPK	A2	Vegetable oils and waste oils (e.g. used cooking oil)	50
Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars	SIP	A3	Fermentable sugars	10
Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non petroleum sources	FT-SPK/A	A4	Waste CO ₂ and renewable power. Municipal solid waste. Agricultural waste / waste wood.	50
Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	A5	Ethanol and Isobutanol	50
Synthesized kerosene from hydrothermal conversion of fatty acid esters and fatty acids	CHJ	A6	Vegetable oils and waste oils (e.g. used cooking oil)	50
Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbons, esters and fatty acids	HC-HEFA SPK	A7	Botryococcus braunii species of algae	10

Figura 6 - Sette tecnologie attualmente certificate dall'ASTM per produrre cherosene sintetico (SK)

FONTE: Air bp

Di seguito, vengono esposti i sette technology pathways ad oggi approvati[8]:

- **FT-SPK** (Fischer Tropsch synthesized isoparaffinic kerosene): approvato dall'ASTM nel 2009, questo processo coinvolge la gassificazione di carbone, gas naturale o biomasse in syngas, che viene poi convertito cataliticamente, all'interno di un reattore FT, in un componente liquido del carburante.
- **HEFA-SPK** (Hydroprocessed fatty acid esters and fatty acids): approvato dall'ASTM nel 2011, questo processo deossigena oli vegetali o di alghe, producendo un componente di miscelazione idrocarburico puro.
- **SIP** (Synthesized isoparaffins): approvato dall'ASTM nel 2014, per essere incorporato nell'ASTM D7566, utilizza un processo di fermentazione per convertire zuccheri in una molecola idrocarburica miscelabile nel carburante per jet.
- **FT-SPK/A** (Fischer Tropsch synthesized kerosene with aromatics): si tratta di una variante del processo FT che produce un carburante completamente sintetico contenente aromi, approvato dall'ASTM nel 2015.
- **ATJ-SPK** (Alcohol to jet): Approvato dall'ASTM nel 2016, tecnologia che converte alcol in un componente di miscelazione idrocarburico puro utilizzando disidratazione, oligomerizzazione e idrotrattamento. Approvato dall'ASTM nel 2016. Inoltre, nel 2018, l'etanolo è stato incluso come feedstock con un limite di miscelazione del 50%.
- **CHJ** (Catalytic Hydrothermolysis Jet fuel): utilizza *clean free fatty acid (FFA) oils* provenienti dalla lavorazione di oli di scarto o oli energetici, combinati con acqua preriscaldata e sottoposti a temperature e pressioni molto elevate, producendo paraffine, isoparaffine, cicloparaffine e composti aromatici.
- **HH-SPK** (Hydroprocessed Hydrocarbons- synthesized isoparaffinic kerosene) o **HC-HEFA**: tecnologia aggiunta nel 2020, coinvolge l'idrotrattamento di idrocarburi derivati da alghe specifiche (*botryococcus braunii*).

La Figura 7 riporta l'ordine temporale relativo all'adozione dei processi produttivi appena descritti.

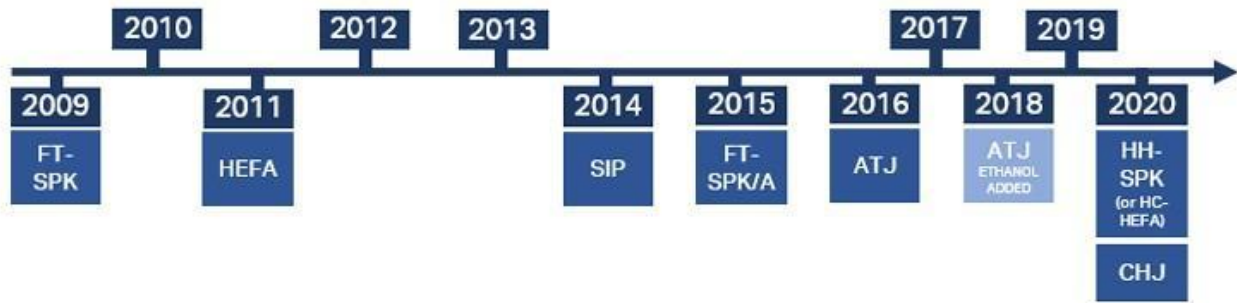


Figura 7 - Timeline dell'adozione delle tecnologie di produzione dei SAF.

Fonte: IATA

Oltre ai sette percorsi individuati per la produzione di cherosene sintetico (SK), ASTM ha definito anche due possibili strade per la produzione di SAF tramite il co-processing. Questi rappresentano le tecnologie che consentono di lavorare i feedstocks approvati da ASTM insieme alle materie prime fossili all'interno delle raffinerie. La Figura 8 offre una panoramica dei processi menzionati[14].

Technology	Feedstock	Max % in final product
Co-hydro processing from Fischer-Tropsch	Waste CO ₂ and renewable power. Municipal solid waste. Agricultural waste/ waste wood.	5%
Co-hydro processing from hydroprocessed esters and fatty acids	Vegetable oils and waste oils (e.g. used cooking oil)	5%

Figura 8 – Le due tecnologie attualmente certificate dall'ASTM per produrre SAF tramite co-processing

Fonte: Air bp8

1.5.3 Power-to-Liquid

Esplorando una prospettiva a più lungo termine, emerge una tecnologia promettente ma ancora in fase embrionale per la produzione di SAF: il processo Fischer-Tropsch (FT) per il Power-to-Liquid (PtL), noto per il carburante risultante chiamato eSAF. Questo processo, definito dall'ICAO come “*un nuovo percorso di produzione di carburanti alternativi a partire da fonti di energia rinnovabile, acqua e anidride carbonica*”, permette l'estrazione di idrogeno dall'acqua tramite elettrolisi. Come illustrato nella Figura 9, la combinazione di tali feedstocks, attraverso il processo FT, consente di produrre un carburante drop-in completamente sostituibile con i tradizionali jet fuels.

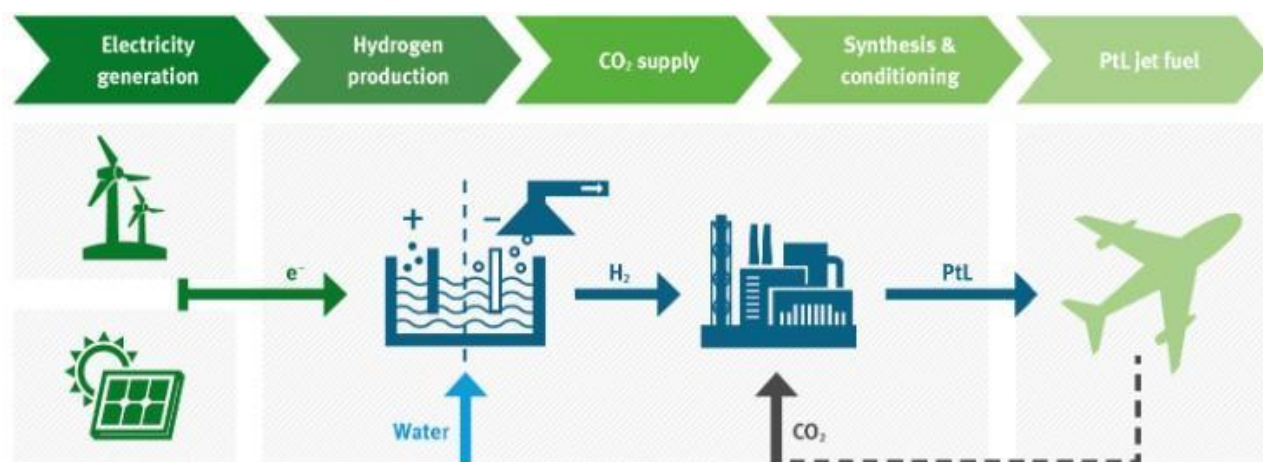


Figura 9 – Processo di produzione di carburante sintetico tramite il processo Power-to-Liquid

FONTE:ICAO

Nonostante i molteplici vantaggi derivanti dall'impiego dei processi PtL per la produzione di carburanti alternativi, quali la minore richiesta di terreni e materie prime rispetto alla trasformazione di biomasse, è cruciale evidenziare che attualmente i costi associati al PtL sono significativamente elevati. Ciò è principalmente dovuto alla produzione di idrogeno verde e alla cattura del carbonio, entrambi processi che richiedono tecnologie all'avanguardia ancora in fase sperimentale e, di conseguenza, caratterizzate da ingenti costi.

Tuttavia, se in futuro si riuscisse a rendere tali processi più efficienti, il costo finale dei carburanti alternativi PtL potrebbe diminuire, rendendoli più accessibili all'industria.

Attualmente, i processi HEFA rappresentano il percorso più praticabile per quanto riguarda la produzione di carburanti sostenibili, grazie soprattutto alla presenza di feedstocks sufficienti a rispondere alla domanda relativamente limitata di SAF. Tuttavia, a seconda delle materie prime impiegate nei processi HEFA, si manifesta una limitata disponibilità per far fronte alla crescente richiesta di SAF nel medio-lungo termine, oppure un'intensità di carbonio eccessivamente elevata, derivante dalla lavorazione di alcune materie prime, come ad esempio gli olii vegetali.

D'altra parte, il PtL sembra essere la scelta da privilegiare per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni a lungo termine e per rispondere alla crescente domanda di SAF. Questo è grazie alla vasta disponibilità di risorse necessarie e alla ridotta intensità di carbonio del processo produttivo stesso. Tuttavia, è improbabile che il PtL venga completamente implementato prima del 2035[51].

1.6 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE ED INFRASTRUTTURALI NEL LUNGO PERIODO

Il processo di produzione dei Sustainable Aviation Fuels deve garantire le medesime caratteristiche e qualità dei carburanti convenzionali, come il cherosene, attualmente il principale carburante fossile impiegato per alimentare i motori degli aeromobili. Si fa riferimento a tali biocarburanti come "*drop-in fuels*", indicando la capacità di integrarsi perfettamente con i tradizionali jet fuels. Questa integrazione è cruciale per evitare costi considerevoli associati, da un lato, alle modifiche tecniche richieste dagli aeromobili esistenti e, dall'altro, all'eventuale progettazione ex novo di tecnologie, sia a livello motoristico che infrastrutturale.

In effetti, considerando che il ciclo di vita medio degli attuali velivoli commerciali è di 25 anni [11], risulta complesso pensare che le tecnologie ad oggi utilizzate possano essere sostituite completamente da aeroplani alimentati con sistemi innovativi nel breve-medio periodo.

Infatti, nonostante progetti di aeromobili elettrici, ibridi o ad idrogeno stiano emergendo, la completa sostituzione di tali aeromobili nella flotta esistente potrebbe realizzarsi verosimilmente ben oltre il 2050, termine per l'obiettivo di emissioni nette zero.

Inoltre, riguardo alle modifiche infrastrutturali necessarie, si pone particolare attenzione sui nuovi *fuel delivery systems* che gli aeroporti dovrebbero implementare. Questi sistemi sarebbero essenziali per agevolare il rifornimento degli aeromobili di nuova tecnologia (elettrici, ibridi o ad idrogeno) direttamente negli aeroporti.

Entrambi questi aspetti, oltre a comportare notevoli sfide in termini di innovazione, tecnologia e ingegneria, implicherebbero costi considerevoli, dato che richiederebbero la rivoluzione di un'intera industria, sia a monte che a valle. Tuttavia, questa riflessione non mira a scoraggiare preventivamente la fattibilità di una trasformazione simile, ma piuttosto a evidenziare le limitate probabilità di attuazione prima del 2050.

Pertanto, al momento, concentrarsi sui Sustainable Aviation Fuels (SAF) come soluzione *drop-in*, completamente integrabili con i combustibili tradizionali per aviazione, rappresenta un percorso più facilmente percorribile, almeno nel tentativo di raggiungere gli obiettivi di medio-lungo termine di riduzione e compensazione delle emissioni di CO₂.

1.7 PERCORSI DI MITIGAZIONE CLIMATICA

L'industria dell'aviazione, consapevole del suo ruolo nell'attuale panorama ambientale e delle sfide legate al cambiamento climatico, è coinvolta attivamente nell'individuare strategie mirate, per mitigare il proprio impatto ambientale. Questo impegno si traduce nella ricerca e nell'identificazione di diversi percorsi (*pathways*), attraverso i quali il settore può contribuire in modo significativo alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione della sostenibilità ambientale.

Secondo lo studio condotto dall'Air Transport Action Group intitolato "Waypoint 2050" [33][34], l'industria aerospaziale ha investito oltre un trilione di dollari nell'acquisto di aeromobili più efficienti negli ultimi dieci anni. Inoltre, sono stati destinati oltre 150 miliardi di dollari alla ricerca e sviluppo per migliorare l'efficienza del settore in tutti gli aspetti.

Questi investimenti hanno portato a notevoli risultati, in termini di aumento dell'efficienza e di riduzione delle emissioni di CO₂. L'introduzione sul mercato di dieci nuovi modelli di aeromobili notevolmente più efficienti ha contribuito a ridurre le emissioni di CO₂ per passeggero per chilometri percorsi del 21,5%.

Nel 2011, inoltre, i Sustainable Aviation Fuel hanno ricevuto la loro prima certificazione, permettendo per la prima volta l'impiego di carburanti sostenibili nei propulsori degli aerei. Da allora, sono stati utilizzati in più di 365.000 voli.

Altri traguardi riguardano la definizione, da parte dell'International Civil Aviation Organization (ICAO), dello standard mondiale per le emissioni di CO₂ degli aerei e l'implementazione del primo meccanismo di pricing del carbonio per un settore mondiale.

La Figura 10 mostra come le misure adottate dal 1990 ad oggi abbiano contribuito ad aumentare notevolmente l'efficienza del settore in termini di riduzione di emissioni di CO₂. Si può notare, infatti, il gap esistente tra il livello attuale di emissioni, e il livello di emissioni che si sarebbe registrato in mancanza delle misure di efficientamento appena esposte.

Efficiency improvements have been impressive, more work needed

Efficiency measures have already saved 11 Gt of CO₂ since 1990, but further work is needed to get the sector down to the industry goal in 2050 (the required emissions reductions are explored in this publication), towards net-zero at a global level.

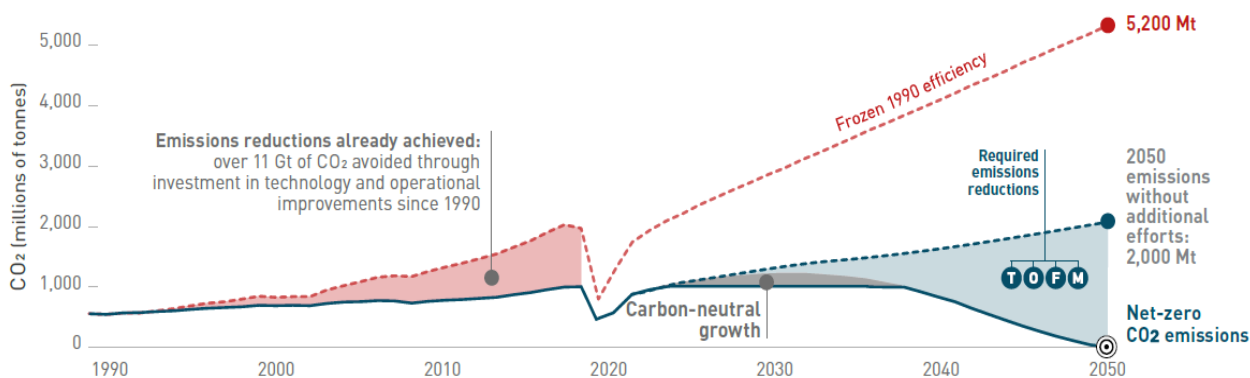


Figura 10 – Emissioni di CO₂ dal 1990 al 2050, con i miglioramenti dell'efficienza e le riduzioni necessarie per raggiungere l'obiettivo Net-zero emissions.

FONTE: Air Transport Action Group, Waypoint 205010

Tuttavia, per raggiungere gli obiettivi di lungo termine stabiliti dal Paris Agreement (12 Dicembre 2015)[35], saranno necessari sforzi ancora maggiori da parte del settore, ma sarà allo stesso tempo fondamentale e necessario il supporto diretto da parte dei governi dei vari Paesi, del settore energetico e della finanza, e delle istituzioni di ricerca[34].

Le previsioni riguardanti l'aumento del traffico aereo nei prossimi decenni indicano che gli sforzi attuali potrebbero essere insufficienti, considerando che si prevede un aumento del numero di passeggeri ad un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 3,1% tra il 2019 e il 2050[34]. Pertanto, è urgente accelerare la transizione energetica.

A tal proposito, è possibile identificare diversi percorsi di mitigazione climatica (*o climate mitigation pathways*)⁴ che l'industria può scegliere di percorrere, ciascuno con diversi gradi di intensità e investimento. Essi possono essere suddivisi in quattro macroaree:

- 1 **Sustainable Aviation Fuel (SAF) e Carburanti Alternativi.** Investimenti in questa direzione mirano a ridurre la dipendenza da combustibili fossili come il cherosene e a conseguire obiettivi di riduzione delle emissioni di carbonio. Oltre ai SAF derivanti da feedstocks e ai processi produttivi discussi in precedenza, anche l'elettricità, l'idrogeno e l'energia solare possono fungere da alternative ai combustibili fossili[36].
- 2 **Misure di efficientamento: operazionali e infrastrutturali.** Le misure operazionali comprendono miglioramenti come riduzione del peso e accorgimenti aerodinamici degli aerei attualmente in uso. Le misure infrastrutturali, invece, riguardano la gestione del traffico aereo, dall'organizzazione alla pianificazione dei voli, fino all'assegnazione dei gate. Queste misure, se combinate, possono contribuire a ridurre le emissioni di CO₂ del settore dell'aviazione dell'11% e migliorare del 31% il livello di servizio per i passeggeri[37].
- 3 **Sviluppi tecnologici.** Includono gli sviluppi tecnici e la ricerca di innovazioni volti a migliorare l'efficienza del carburante utilizzato in volo e la riduzione delle emissioni generate. Possono essere suddivise in due categorie: Struttura dell'aeromobile – “aerodinamica, materiali leggeri e strutture, attrezzature e sistemi, nuove configurazioni, gestione dell'energia ed elettrificazione”[33] – e Sistemi di propulsione – “architettura del motore, efficienza termica e propulsiva, tecnologie dei combustori, materiali avanzati, elettrificazione”[33][38].
- 4 **Misure basate sul mercato (Market Based Measures - MBMs).** Si tratta di strumenti economici utilizzati per ridurre e compensare le emissioni di carbonio. Nel 2016, l'ICAO ha definito i principi di un primo MBM: il Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) [13], approfondito nel capitolo successivo.

Il meccanismo alla base del programma consiste nell'integrare le misure sopra riportate, come il miglioramento dell'efficienza dei biocarburanti e i miglioramenti tecnologici, con l'acquisto di crediti di carbonio volti a finanziare progetti sostenibili *out-of-sector*.

⁴ “Sforzi e strategie volte a ridurre l'impatto ambientale del settore dell'aviazione sull'ambiente, in particolare per quanto riguarda le emissioni di gas serra come il biossido di carbonio (CO₂)”.

Fonte: Elaborazione personale

La Figura 11 illustra le riduzioni delle emissioni previste nel corso degli anni, a seguito dell'attuazione di CORSIA.

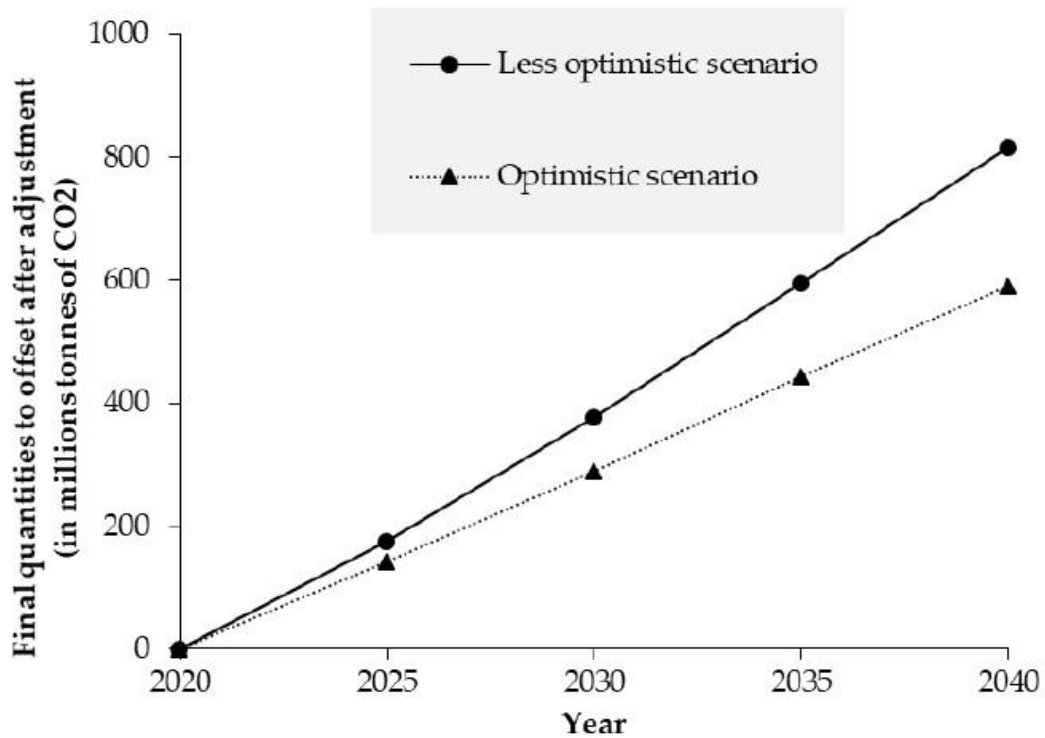


Figura 11 – Riduzioni delle emissioni previste a seguito dell'adozione di CORSIA, 2020-2040

Fonte: M. A. Hasan, A. A. Mamun, S. M. Rahman, K. Malik, M. I. U. Al Amran, A. N. Khondaker, O. Reshi, S. P. Tiwari, F. S. Alismail. (2021). *Climate Change Mitigation Pathways for the Aviation Sector. Sustainability*, 13, 3656.

Secondo il report ICAO "*Climate Change Mitigation: Sustainable Aviation Fuels*", l'International Air Transport Association (IATA) sottolinea che le maggiori riduzioni delle emissioni di CO2 dovranno derivare principalmente dai Sustainable Aviation Fuels (SAF). Pertanto, è cruciale considerare due aspetti fondamentali: da un lato, è necessario stimare le quantità di SAF richieste per raggiungere gli obiettivi fissati e valutare la disponibilità di materiali e feedstock necessari per la loro produzione; dall'altro, è essenziale stabilire criteri economici e regolatori per facilitare la transizione verso l'uso di tali carburanti sostenibili.

CAPITOLO SECONDO

SCREENING NORMATIVO

Il capitolo in esame mira a esplorare dettagliatamente il contesto normativo riguardante i Sustainable Aviation Fuel (SAF) nell'ambito dell'aviazione commerciale. Si analizza l'evoluzione del quadro normativo, a partire dal pacchetto di riforme del "Fit for 55" e degli obiettivi di decarbonizzazione associati, per poi esaminare le regolamentazioni a livello europeo e internazionale. Particolare attenzione è rivolta al Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), e al programma REFUEL EU dell'Unione Europea. L'analisi si propone di fornire una panoramica completa delle politiche normative che guidano l'adozione e l'utilizzo di SAF, evidenziando il ruolo cruciale di tali iniziative nel perseguire gli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione nel settore dell'aviazione commerciale.

2.1 EVOLUZIONE DEL “FIT FOR 55” ED OBIETTIVI DI DECARBONIZZAZIONE

Nel 2020, in risposta alla crescente urgenza della crisi climatica e dopo un lungo periodo di dibattiti all'interno del Consiglio europeo, il Parlamento europeo ha ratificato il *Green Deal*, un accordo concepito come strumento di rilievo per affrontare le sfide ambientali attraverso una serie di iniziative strategiche. Tale accordo, elaborato in risposta alla dichiarazione di emergenza climatica, si configura come un'intesa tra gli Stati membri dell'Unione Europea, delineando in questo modo una roadmap per trasformare l'UE in una leader nella lotta al cambiamento climatico e nella transizione verso un'economia verde.

Il Green Deal si caratterizza per un approccio “*olistico e intersettoriale*”[54], come definito dal Consiglio europeo, e coinvolge tutti i settori strategici nell'ambito degli sforzi climatici. L'accordo si propone di portare settori cruciali come l'energia, i trasporti, l'agricoltura e la finanza sostenibile verso un obiettivo comune di neutralità climatica. Attraverso questo approccio integrato, si mira a realizzare non solo progressi ambientali, ma anche nuove opportunità economiche, come la creazione di nuovi modelli di business e mercato, la generazione di nuovi posti di lavoro e il sostegno allo sviluppo tecnologico. Si tratta pertanto di un accordo che regola e delinea i margini di azione nel contesto della sostenibilità, coinvolgendo positivamente anche la sfera socioeconomica dei Paesi membri.

All'interno del Green Deal sono definiti una serie di piani e linee guida, concepiti per orientare gli Stati nell'implementazione delle strategie necessarie al raggiungimento degli obiettivi della transizione verde.

In questo contesto, l'iniziativa "Fit for 55", inclusa nel Green Deal, si presenta come un insieme di proposte legislative mirate a rivisitare e rafforzare la normativa dell'Unione Europea per raggiungere gli ambiziosi obiettivi climatici, in linea con il Green Deal stesso. Questo pacchetto normativo prende il proprio nome dall'obiettivo comunitario di riduzione delle emissioni nette di gas serra del 55% rispetto ai livelli del 1990. Il termine da rispettare è il 2030.

È opportuno sottolineare che, con l'approvazione del Green Deal da parte del Parlamento Europeo, il conseguimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di almeno il 55% è diventato un obbligo giuridico. Di conseguenza, pacchetti e iniziative come il "Fit for 55" rivestono un'importanza fondamentale nell'ottica di supporto ai vari Paesi verso la piena conformità con tali normative.

Esaminando l'iniziativa Fit for 55, emerge chiaramente l'applicazione pratica dell'approccio olistico e intersettoriale tipico del Green Deal europeo. Questo pacchetto legislativo abbraccia una vasta gamma di misure progettate per trasformare gli obiettivi ambientali e climatici in leggi concrete, che coinvolgono una molteplicità di settori e industrie.

2.1.1 Energia Rinnovabile

In primo luogo, il pacchetto Fit for 55 propone una riforma delle Politiche Energetiche che mira a rivoluzionare il settore energetico europeo. Tale iniziativa mira a promuovere l'adozione di fonti di energia rinnovabile e ridurre progressivamente la dipendenza da combustibili fossili, attraverso politiche e sistemi di tassazione incentrati sull'energia rinnovabile, sull'efficienza energetica e sulla decarbonizzazione. Uno dei target primari di queste misure è aumentare la quota di fonti di energia rinnovabile nel mix energetico complessivo, portandola dal 32% attuale al 40% entro il 2030 (Figura 12).

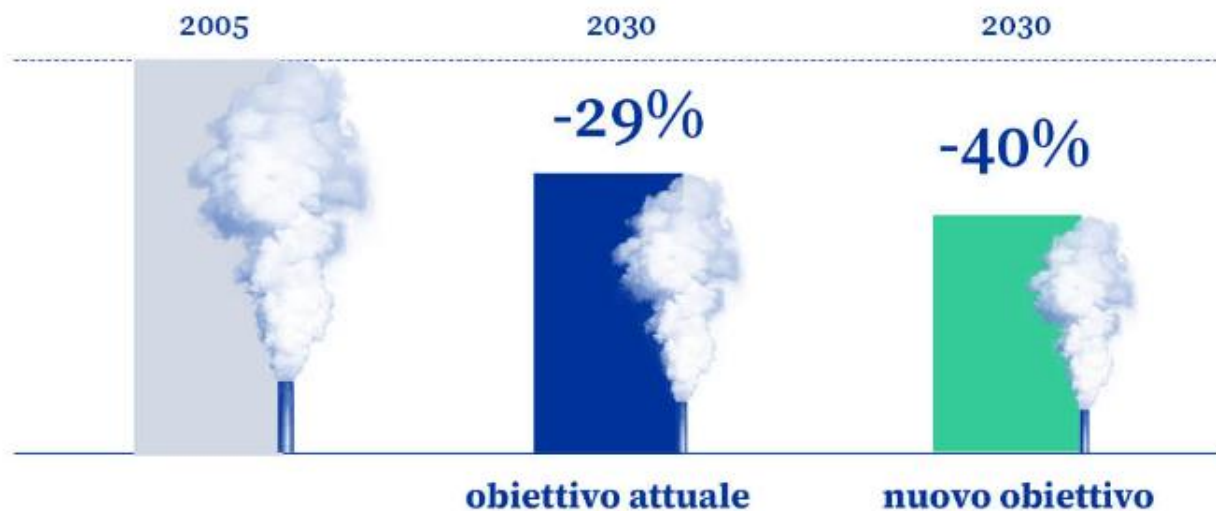


Figura 12 – Emissioni totali dell'UE nei settori interessati

Fonte: Consiglio dell'Unione Europea

È importante osservare che per conseguire la quota del 40% di fonti di energia rinnovabile entro il 2030, gli obiettivi di riduzione delle emissioni sono equamente distribuiti tra tutti i Paesi membri dell'UE, in linea con i principi di sviluppo economico e sociale stabiliti dal Green Deal (Figura 13). Un'attribuzione di questo tipo garantisce la ripartizione di costi tra gli Stati membri, in base alle differenti circostanze nazionali.

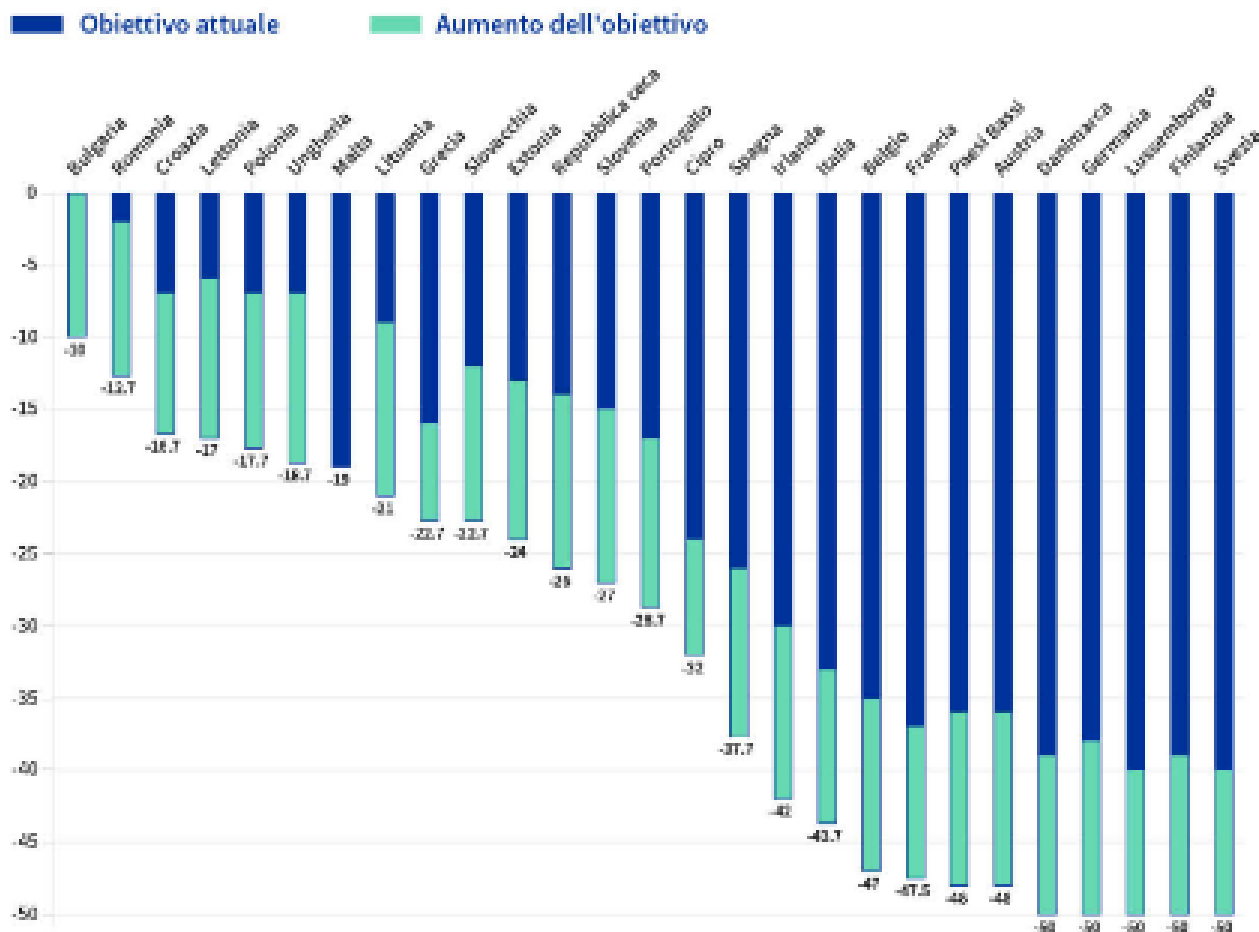


Figura 13 – Proposta di aumento previsto degli obiettivi entro il 2030 per Stato membro (in %)

Fonte: Consiglio dell'Unione Europea

2.1.2 Emissioni di gas serra

L'iniziativa include una proposta specifica volta a ridurre le emissioni gas serra, in particolar modo le emissioni di metano derivanti dall'industria energetica (Figura 14).

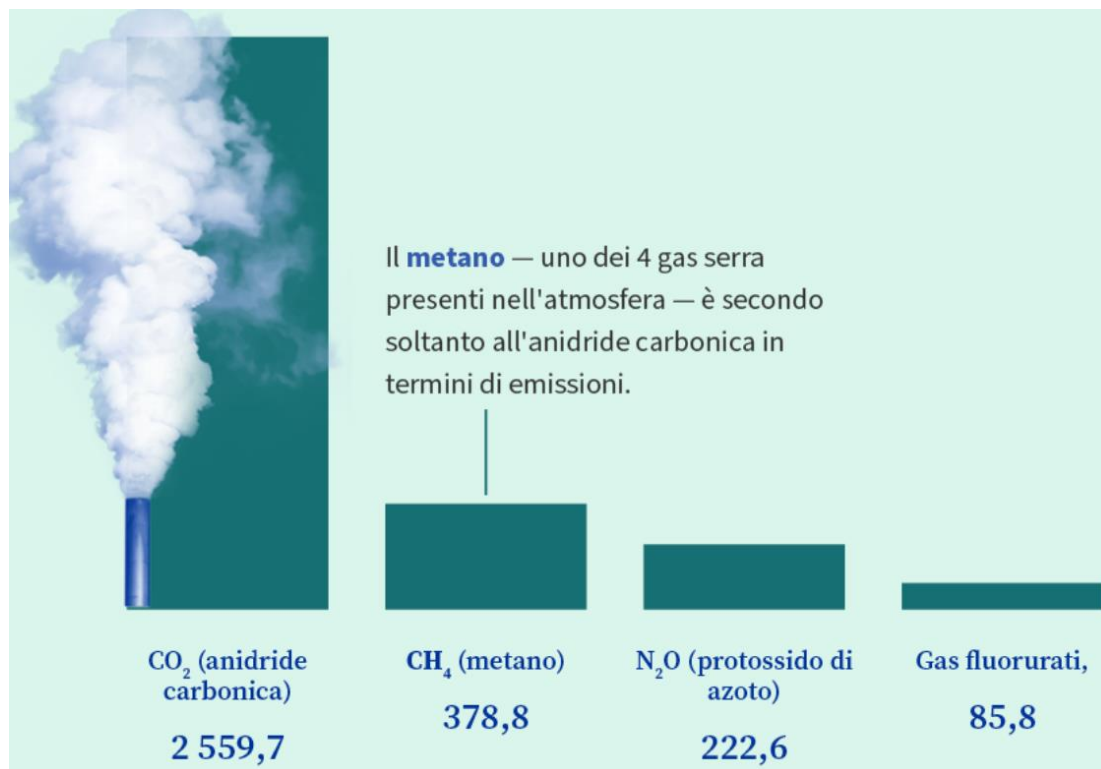


Figura 14 - Emissioni di gas serra nell'UE (in chilotonnellate di CO₂ equivalente)

Fonte: Agenzia europea dell'ambiente, dati del 2020.

Questo impegno da parte dell'Unione Europea è stato intrapreso nel 2021, in seguito a una conferenza sul clima delle Nazioni Unite, durante la quale più di 100 Paesi hanno formalizzato l'obiettivo di ridurre le emissioni di metano del 30% entro il 2030.

Nonostante esso presenti livelli di emissione notevolmente inferiori rispetto all'anidride carbonica, è fondamentale sottolineare che “*su un orizzonte temporale di 20 anni il metano ha un potenziale di riscaldamento globale 84 volte superiore a quello dell'anidride carbonica*”.

Pertanto, agire in questa direzione rappresenta una misura essenziale per l'Unione Europea al fine di conseguire i suoi più ampi obiettivi di mitigazione climatica.

Le nuove disposizioni incluse nel pacchetto Fit for 55 per la regolamentazione delle emissioni di metano abbracciano una serie di misure specifiche. Tra queste, si annoverano la definizione di requisiti per la misurazione e la verifica delle emissioni di metano derivanti dal settore energetico, l'elaborazione di piani di mitigazione a livello nazionale e l'istituzione di sistemi di monitoraggio delle importazioni di combustibili fossili nell'Unione Europea.

2.1.3 Emissioni nel settore dei trasporti

Altrettanto importante per il Fit for 55 è il settore dei Trasporti, una fonte significativa di emissioni di gas serra. In questo ambito, le proposte legislative coinvolgono due aree: da un lato sono presenti le leggi per regolamentare le emissioni di anidride carbonica da parte di autovetture e furgoni, dall'altro le norme sui carburanti sostenibili per l'aviazione e per il trasporto marittimo.

Le normative per il trasporto su strada puntano a promuovere veicoli a emissioni zero. Attualmente, infatti, i veicoli a quattro ruote sono responsabili per il 15% delle emissioni di CO₂ all'interno dell'Unione Europea (Figura 15).

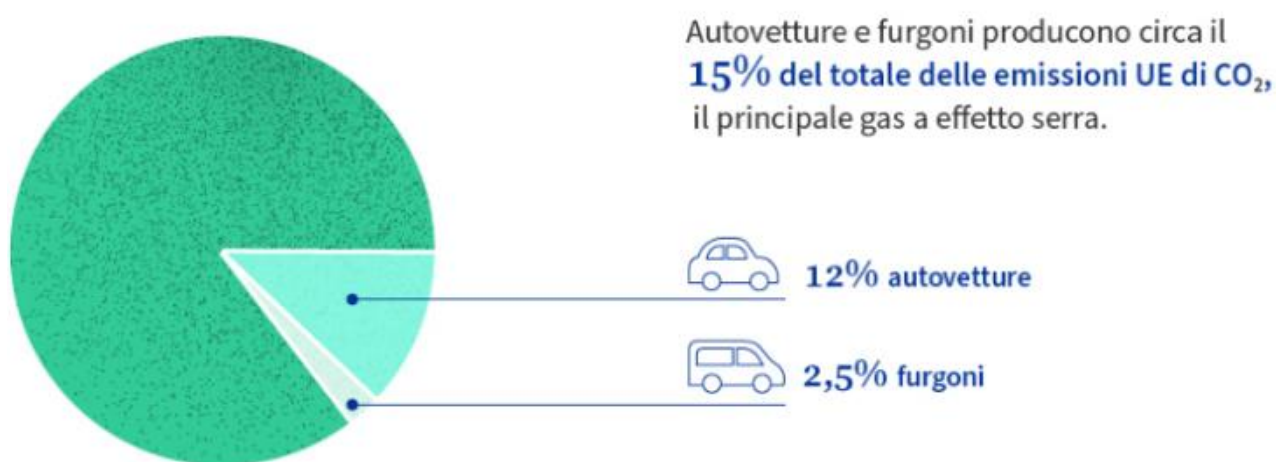


Figura 15 – Emissioni di CO₂ di autovetture e furgoni nell'UE

Fonte: Consiglio dell'Unione Europea

Le misure previste per questo campo hanno l'obiettivo finale di ridurre gradualmente le emissioni derivanti dal trasporto terrestre. Entro il 2035, infatti, tutti i veicoli di nuova produzione dovranno essere ad emissioni zero.

Parallelamente, vengono regolati anche il trasporto aereo e marittimo, con lo scopo di ridurre l'inquinamento atmosferico mediante un crescente utilizzo di carburanti sostenibili. Come mostrato nella Figura 16, questi due settori contribuiscono per oltre un quarto delle emissioni derivanti dai trasporti all'interno dell'Unione Europea.

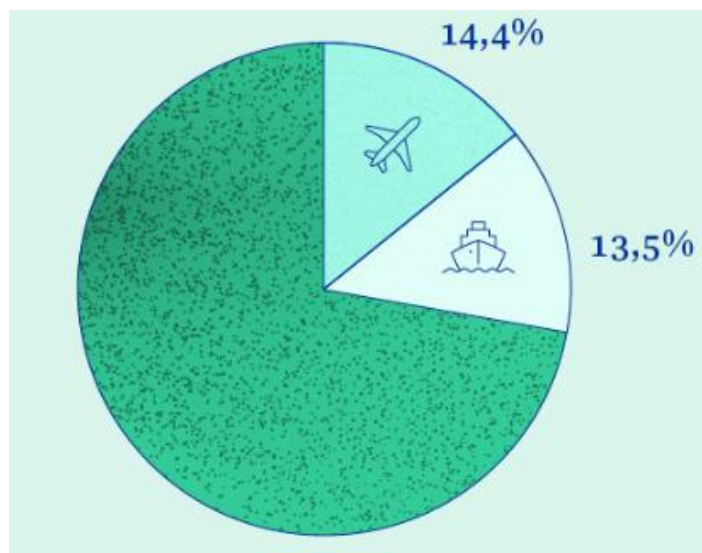


Figura 16 – Emissioni prodotte dai trasporti UE (sulla base degli ultimi dati disponibili al 2018)

Fonte: Consiglio dell'Unione Europea

Nel dettaglio, per quanto riguarda l'industria dell'aviazione, è stata recentemente istituita l'iniziativa ReFuelEU Aviation, che verrà approfondita in seguito. Per il trasporto marittimo, la proposta FuelEU Maritime fissa l'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ all'interno del settore dell'80% entro il 2050. Entrambe le iniziative sono state implementate sulla base della Direttiva sull'Energia Rinnovabile, o Renewable Energy Directive (RED). Essa “rappresenta “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 a tal fine”. Entrata in vigore nel 2009, la RED ha subito una serie di modifiche nel corso degli anni, con l'obiettivo di accelerare la transizione verso l'utilizzo di energie rinnovabili. L'ultima modifica (RED III) risale al 20 novembre 2023, in cui è stato individuato il principale obiettivo di raggiungere il 42,5% di energia rinnovabile all'interno dell'Unione Europea.”[85]

Tuttavia, per raggiungere gli obiettivi definiti da queste iniziative, sarà necessario effettuare importanti investimenti anche a livello di infrastrutture. A tal proposito, il Regolamento sull'Infrastruttura per i Combustibili Alternativi (AFIR – Alternative Fuels Infrastructures Regulation) è un piano che stabilisce tutte le misure necessarie a garantire il rifornimento o la ricarica agevole dei veicoli alimentati con carburanti sostenibili. Ciò avverrà attraverso l'installazione di stazioni di ricarica per veicoli elettrici o a idrogeno entro il 2030. Inoltre, l'AFIR definisce anche le modifiche necessarie al miglioramento infrastrutturale per rendere possibile il rifornimento con carburanti alternativi anche per i settori marittimo e dell'aviazione.

2.1.4 Emissioni risultanti da attività connesse all'uso del suolo

Il pacchetto Fit for 55 comprende inoltre una serie di misure finalizzate a promuovere la sostenibilità nell'agricoltura e nell'uso del suolo, con l'obiettivo di ridurre le emissioni derivanti da tali attività. Questo obiettivo viene perseguito tramite l'attuazione di politiche che favoriscono pratiche agricole ecologicamente efficienti, la tutela delle risorse forestali e una gestione del suolo finalizzata alla cattura e alla conservazione del carbonio.

Queste attività sono regolate dal Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF), che fornisce linee guida per tutte le attività legate “alla conversione, all'uso e alla gestione del suolo e delle foreste” [67]. Attraverso questo pacchetto normativo si regola non solo il livello di emissioni derivanti dalle attività di utilizzo del suolo, ma viene stabilito anche il livello di assorbimento di CO₂ da parte delle stesse.

Poiché il settore ha la capacità di assorbire grandi quantità di CO₂ grazie alla presenza di alberi e piante, che assorbono anidride carbonica durante i processi di fotosintesi (Figura 17), le regolamentazioni LULUCF stabiliscono che gli Stati membri devono garantire, tra il 2021 e il 2030, che “le emissioni derivanti dall'uso del suolo e della silvicoltura siano compensate da un assorbimento equivalente di CO₂” [67] da parte del settore stesso.

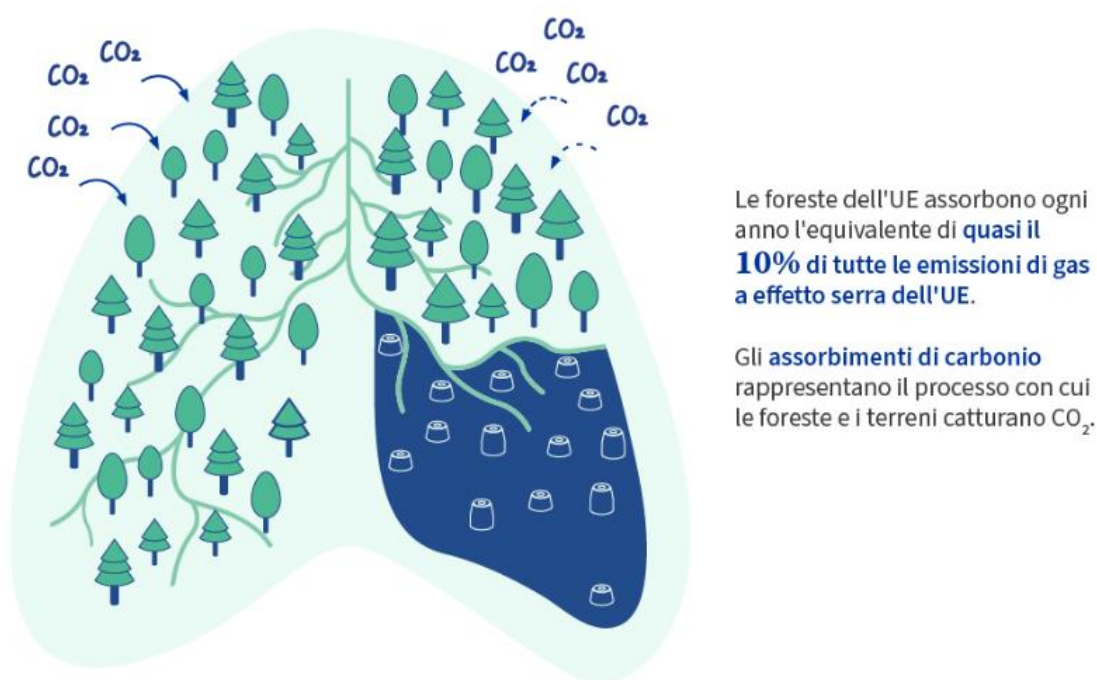


Figura 17 – Assorbimento di CO₂ da parte delle foreste nell'UE

Fonte: Consiglio dell'Unione Europea

2.1.5 Sistema di scambio delle quote di emissione

Un pilastro centrale dell'iniziativa riguarda i Mercati delle Emissioni e il Carbon Pricing, con la revisione e il potenziamento del sistema europeo di scambio delle quote di emissione (EU ETS) e l'introduzione di un prezzo sul carbonio per settori al di fuori del sistema EU ETS (CBAM), al fine di incentivare la riduzione delle emissioni attraverso meccanismi di mercato.

L'Emission Trading System (EU ETS) rappresenta un regime di mercato volto a limitare le emissioni di gas serra all'interno dell'Unione Europea nei settori dell'energia elettrica, dell'industria manifatturiera e dell'industria dell'aviazione, con oltre 11.000 operatori coinvolti [68]. Basato sul concetto di *Cap and Trade* [69], il sistema stabilisce un limite massimo alle emissioni consentite ai soggetti obbligati, i quali possono successivamente negoziare le "quote di emissione". Ogni quota rappresenta il diritto all'emissione di una tonnellata di CO₂, e può essere acquistata a titolo oneroso attraverso aste pubbliche europee [68]. Al termine di ciascun periodo di rendicontazione (entro il 30 aprile di ogni anno), le imprese coinvolte devono restituire una quota per ogni tonnellata di CO₂ emessa. Le imprese che hanno emesso una quantità di anidride carbonica superiore alle quote possedute saranno obbligate ad acquistarle dalle imprese che possiedono quote di emissione in eccesso rispetto alle emissioni effettivamente prodotte. Questo sistema crea un incentivo economico per le imprese, spingendole a ridurre le proprie emissioni. Il mancato rispetto del sistema di *Cap and Trade*, infatti, è soggetto a rilevanti sanzioni economiche, rendendo la compliance di fatto obbligatoria per i soggetti coinvolti.

Tuttavia, agli attori coinvolti è concesso di valutare attentamente il mix più vantaggioso dal punto di vista economico, decidendo se investire in tecnologie e impianti che assicurino livelli inferiori di emissioni o, alternativamente, acquistare quote.

Parallelamente al sistema di mercato interno dell'Unione Europea – l'EU ETS – all'interno del pacchetto Fit for 55 sono stabilite anche norme che regolano il mercato del carbonio dei Paesi membri nel commercio internazionale. La ratio dietro queste normative risiede nella volontà di evitare che le nazioni europee incrementino in modo eccessivo l'acquisto di determinati materiali - la cui lavorazione genera livelli elevati di emissioni di carbonio - al di fuori dell'Unione Europea, per eludere gli obblighi di negoziazione delle quote di emissione di CO₂.

Le imprese europee, a causa della convenienza economica, potrebbero preferire acquistare all'estero materiali destinati alla produzione di beni ad alta intensità di carbonio. Al fine di mitigare questo potenziale effetto, il Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) mira a garantire che *“il prezzo del carbonio delle importazioni sia equivalente al prezzo del carbonio della produzione interna e che gli obiettivi climatici dell'UE non siano compromessi”*.

Tuttavia, in caso di importazioni da paesi con normative ambientali meno stringenti rispetto all'UE, le imprese coinvolte saranno tenute a dichiarare le quantità importate e a compensare la differenza di prezzo attraverso l'acquisto dei cosiddetti “certificati CBAM” (Figura 18).



Figura 18 – Meccanismo di aggiustamento CBAM

FONTE: Consiglio dell'Unione Europea

2.1.6 Sostegno finanziario e amministrativo

L'attuazione delle misure previste dal pacchetto Fit for 55 richiede un significativo sostegno finanziario e amministrativo. Per affrontare questa sfida, l'Unione Europea si sta concentrando sull'innovazione e sulla tecnologia verde attraverso investimenti nella ricerca e nello sviluppo di soluzioni sostenibili a basse emissioni di carbonio. Questi investimenti sostengono progetti nel settore delle energie rinnovabili, dell'energia pulita e delle tecnologie per la cattura e lo stoccaggio del carbonio.

Il fondo Horizon Europe (approfondito in seguito) e il Fondo Sociale per il Clima rappresentano esempi tangibili di questa strategia. Attraverso questi strumenti finanziari, l'UE intende fornire un supporto economico allo sviluppo di innovazioni tecnologiche e alle categorie che potrebbero incontrare maggiori difficoltà nell'adattarsi alle normative mirate al miglioramento dell'efficienza energetica e alla riduzione delle emissioni di gas serra. [77]

In conclusione, le ambizioni e le opportunità delle iniziative del Green Deal europeo e del Fit for 55 sono accompagnate da significative sfide e preoccupazioni. Sarà indispensabile implementare sistemi

di monitoraggio per verificare sia la destinazione dei fondi stanziati, sia l'effettivo impiego delle risorse in attività sostenibili, evitando e sanzionando eventuali pratiche di *Greenwashing*⁵.

Inoltre, come evidenziato all'interno dell'articolo *“Il Green Deal europeo. Considerazioni critiche sulla tutela dell'ambiente e le iniziative di diritto UE”*, uno dei principali limiti dei Fondi destinati a finanziare la transizione verde è *“rappresentato dal fatto che esso sarà alimentato da cofinanziamenti nazionali e regionali che verranno trasferiti dai fondi per lo sviluppo regionale e sociale (FESR e FSE+)”*. Questo implica che l'Unione Europea non sembra intenzionata a modificare il suo schema finanziario, e di conseguenza, le risorse economiche destinate al conseguimento degli obiettivi delineati deriverebbero da altri Fondi. Tale approccio comporta un rischio significativo di compromettere lo sviluppo socioeconomico dei Paesi più svantaggiati.

2.2 REFUEL EU AVIATION

Nel paragrafo precedente è stato delineato in dettaglio il quadro normativo conosciuto come "Fit for 55", ideato dall'Unione Europea per perseguire ambiziosi traguardi di riduzione delle emissioni di carbonio, mirando a supportare gradualmente gli Stati membri verso la neutralità climatica entro il 2050. Come sottolineato, questa iniziativa, correlata al Green Deal europeo, adotta un approccio interdisciplinare che spazia dalle normative sul mercato del carbonio fino alle pratiche di edilizia sostenibile, coinvolgendo tutti i settori e le industrie implicate nella questione delle emissioni di gas serra.

In particolar modo, il settore del trasporto aereo è regolamentato da ReFuelEU Aviation, una normativa introdotta dalla Renewable Energy Directive (RED), in cui si affronta specificamente la problematica delle emissioni nel contesto dell'aviazione. La sua finalità consiste nel regolare e mitigare l'impatto climatico del trasporto aereo.

2.2.1 Contesto e campo d'applicazione

In sintonia con gli obiettivi del Green Deal europeo, l'iniziativa ReFuelEU Aviation si propone come obiettivo principale quello di *“aumentare sia la domanda che l'offerta di carburanti sostenibili per l'aviazione”*[81]. I Sustainable Aviation Fuel (SAF), come analizzato nei precedenti paragrafi, emergono come la soluzione attualmente più efficace per mitigare le emissioni di CO₂ prodotte dal settore dell'aviazione.

Nell'Articolo 1 del *“Regolamento sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile” – ReFuelEU Aviation* [82], infatti, si enuncia chiaramente l'oggetto della proposta, che mira a stabilire *“norme armonizzate sulla diffusione e sulla fornitura di carburanti sostenibili per l'aviazione”*.

Tuttavia, le attuali sfide legate alla produzione di SAF su larga scala richiedono l'attuazione di provvedimenti volti ad accrescere l'adozione di tali carburanti da parte degli operatori del settore e a garantire un aumento dell'offerta e della disponibilità dei feedstock necessari per la loro produzione.

⁵ *Inducendo in errore il pubblico facendogli credere che un'azienda o altra entità stia facendo più di quanto effettivamente faccia per proteggere l'ambiente, il greenwashing promuove soluzioni false alla crisi climatica che distolgono e ritardano azioni concrete e credibili.* [78]

In pratica, la limitata disponibilità di carburanti sostenibili si riflette sul mercato attraverso prezzi notevolmente superiori rispetto ai combustibili fossili, come il cherosene. Tale circostanza costituisce un deterrente per potenziali utilizzatori di SAF, i quali, in assenza di incentivi economici, potrebbero non essere inclini a adottare soluzioni più sostenibili rispetto ai tradizionali jet fuel.

Al fine di affrontare questa problematica, l'iniziativa ReFuelEU Aviation impone obblighi e normative volti a potenziare la rilevanza e l'utilizzo dei carburanti sostenibili all'interno del settore dell'aviazione.

Gli attori interessati dalle disposizioni di ReFuelEU Aviation vengono delineati nell'Articolo 2 del regolamento. In primo luogo, le normative descritte nel documento fanno riferimento esclusivamente "ai voli di trasporto aereo commerciale". A seguito di questa premessa, il campo di applicazione del regolamento si rivolge "agli operatori aerei⁶, agli aeroporti dell'Unione⁷ e ai rispettivi enti di gestione degli aeroporti dell'Unione⁸, nonché ai fornitori di carburante per l'aviazione".

È da notare che possono essere previste modifiche e deroghe a tali ambiti di applicazione, consentendo a uno Stato membro di escludere un operatore, un aeroporto o un ente di gestione degli aeroporti dell'Unione dal regolamento, o viceversa, qualora siano soddisfatti determinati requisiti.

2.2.2 Target e obblighi degli operatori

A partire dall'Articolo 4 vengono espone le disposizioni, vale a dire gli obblighi e i target della normativa ReFuelEU Aviation, stabilendo quali sono gli obiettivi da raggiungere e definendo i ruoli e gli obblighi degli attori coinvolti.

In ordine, l'Articolo 4 definisce le "quote di carburante sostenibile per l'aviazione disponibile negli aeroporti dell'Unione". I fornitori di carburante devono infatti necessariamente assicurare che il carburante messo a disposizione all'interno degli aeroporti rispetti le quote minime di carburante sostenibile e carburante sintetico. Nel primo caso, i fornitori avranno l'obbligo di incorporare progressivamente delle quantità prestabilite di carburanti sostenibili per l'aviazione all'interno dei carburanti tradizionali. Si parla del 2% entro il 2025, per poi passare al 6% nel 2030 e al 70% nel 2050. Per quanto riguarda i carburanti sintetici, invece, a partire dal 2030, sarà presente l'obbligo di fornire una quota minima dell'1,2% di carburanti sintetici, con un aumento graduale fino al 35% nel 2050. La Figura 19 riporta le quote minime di SAF e di carburanti sintetici (e-fuel) che dovranno essere progressivamente integrate con i carburanti fossili tradizionali.

⁶ "Operatore aereo": un soggetto che ha operato almeno 500 voli di trasporto aereo commerciale di passeggeri o 52 voli di trasporto aereo commerciale "all-cargo" in partenza da aeroporti dell'Unione nel periodo di riferimento precedente oppure, se tale soggetto non può essere identificato, il proprietario dell'aeromobile. [82]

⁷ "Aeroporto dell'Unione": un "aeroporto" quale definito all'articolo 2, punto 1), della direttiva 2009/12/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, in cui, nel periodo di riferimento precedente, il traffico passeggeri è stato superiore a 800 000 passeggeri o il traffico merci è stato superiore a 100 000 tonnellate, e che non è situato in una regione ultraperiferica, come indicato all'articolo 349 TFUE. [82]

⁸ "Ente di gestione di un aeroporto dell'Unione": in relazione a un aeroporto dell'Unione, il "gestore aeroportuale" quale definito all'articolo 2, punto 2), della direttiva 2009/12/CE o, qualora lo Stato membro interessato abbia riservato la gestione delle infrastrutture centralizzate per i sistemi di distribuzione del carburante a un altro ente a norma dell'articolo 8, paragrafo 1, della direttiva 96/67/CE del Consiglio, tale altro ente. [82]

Fase quinquennale	Percentuale minima complessiva SAF	Percentuale specifica e-fuels
1. 2025-2029	2,0%	-
2. 2030-2035	6,0%	1,2% (2030-2031) 2,0% (2032-2034)
3. 2035-2040	20%	5,0%
4. 2040-2045	34%	10%
5. 2045-2050	42%	15%
6. dal 2050	70%	35%

Figura 19 - Quote minime di SAF e carburanti sintetici (e-fuel) da integrare progressivamente con i carburanti fossili tradizionali.

Fonte: Rinnovabili.it

Nello specifico, secondo l'Articolo 3, gli obblighi di quote minime di carburanti sostenibili per l'aviazione e carburanti sintetici ammissibili riguardano “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 (REDIII), 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”.

L'Articolo 5 delinea gli obblighi di rifornimento imposti agli operatori aerei. In particolar modo, essi devono garantire che “il quantitativo annuo di carburante per l'aviazione caricato da un determinato operatore aereo in un determinato aeroporto dell'Unione deve corrispondere ad almeno il 90% del fabbisogno annuo di carburante per l'aviazione”. Tale misura è volta a scoraggiare le cosiddette azioni di *tankering*⁹. Secondo ICAO, tale prassi può derivare da motivazioni di natura sociale, tecnica, di sicurezza o organizzativa (*tankering operativo*), oppure può essere motivata da un interesse economico, quando il costo del carburante acquistato presso l'aeroporto di partenza è inferiore a quello dell'aeroporto di destinazione (*tankering economico*).

All'interno del report ICAO “*Economic Fuel Tankering: A Threat to Aviation Decarbonisation*” [89], inoltre, viene evidenziato il notevole impatto ambientale di questa pratica. Come illustrato nella Figura 20, caricare un eccesso di carburante sull'aeromobile, oltre a quanto strettamente necessario per il volo, comporta un aumento significativo del consumo di carburante. Questo aumento è attribuibile al peso aggiuntivo dell'aeromobile stesso, che generalmente si traduce in un aumento del consumo di carburante compreso tra il 2.5% e il 4.5% (del peso aggiuntivo).

⁹ Il *tankering* è una pratica secondo cui un aeromobile trasporta più carburante di quanto richiesto per il suo volo in condizioni di sicurezza, al fine di ridurre o evitare il rifornimento presso l'aeroporto di destinazione per i successivi voli.
Fonte: ICAO

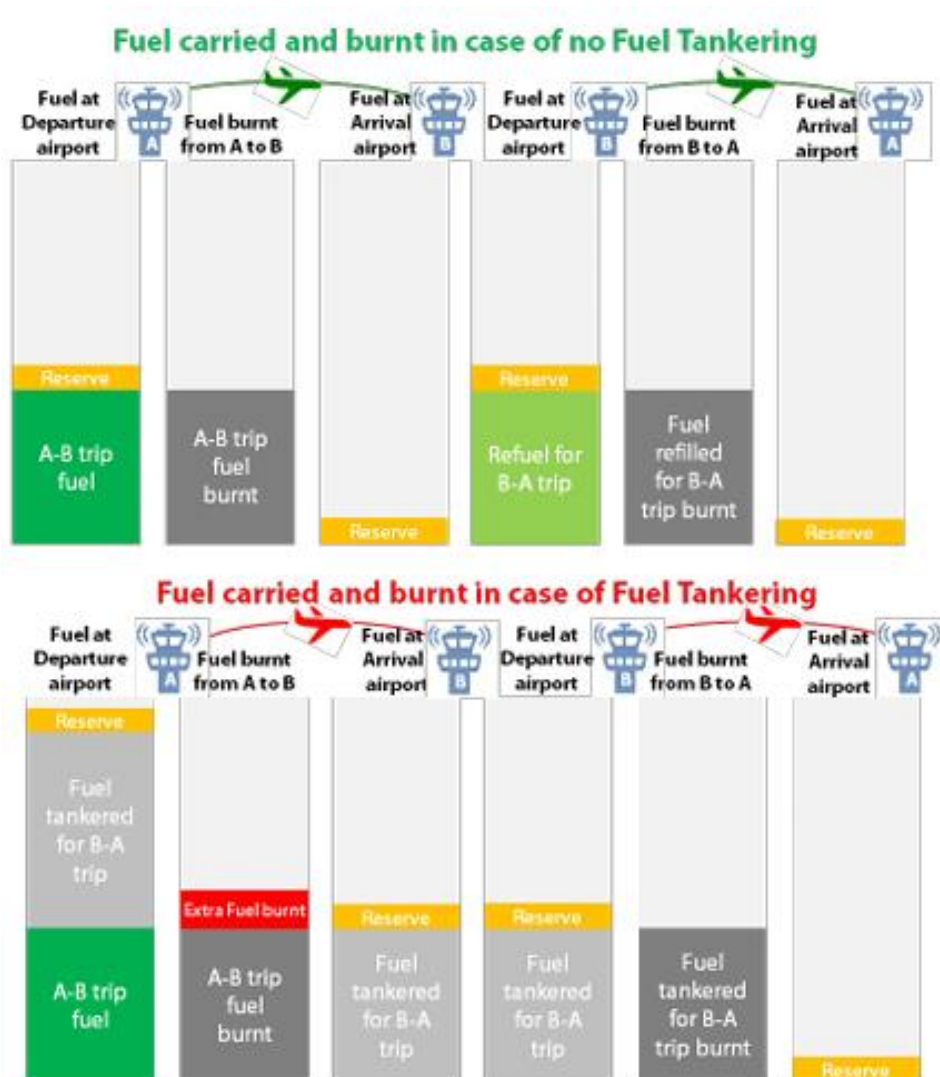


Figura 20 - "Esempio di consumo aggiuntivo di carburante per un volo di ritorno tra due aeroporti con e senza tankering del carburante"

Fonte: Economic Fuel Tankering: A Threat to Aviation Decarbonisation

Infine, ReFuelEU Aviation disciplina anche gli obblighi di comunicazione per gli operatori aerei (*Articolo 8*) e gli obblighi di comunicazione per i fornitori di carburante per l'aviazione (*Articolo 10*). Attraverso la raccolta sistematica di questo tipo di dati (*Articolo 13*) e l'istituzione di un Sistema di etichettatura ambientale¹⁰ (*Articolo 14*), è possibile monitorare l'aderenza alle normative da parte di tutti gli attori coinvolti. Questo "sistema di monitoraggio trasparente"¹¹ è facilitato dalla designazione, da parte dei Paesi dell'UE, di una o più Autorità competenti (*Articolo 11*), incaricate di verificare l'applicazione effettiva del regolamento e di sanzionare i soggetti che non ottemperano agli obblighi entro i termini stabiliti.

¹⁰ Sistema volontario di etichettatura ambientale che consente di misurare le prestazioni ambientali dei voli. Le etichette rilasciate consentono di certificare "l'impronta di carbonio prevista per passeggero e l'efficienza prevista in termini di CO2 per chilometro di un volo".

Fonte: REGOLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sulla garanzia di condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile (RefuelEU Aviation).

¹¹ Fonte: Rinnovabili.it, ReFuelEU Aviation: anche il trasporto aereo verso la neutralità climatica, 26 settembre 2023. <https://www.rinnovabili.it/mobilita/aeronautica-sostenibile/refueleu-aviation-nuove-norme-ue-trasporto-aereo/>

2.2.3 Tempistiche

L'iniziativa ReFuelEu Aviation è stata ratificata dal Consiglio europeo il 9 ottobre 2023 ed è ufficialmente entrata in vigore il 1° gennaio 2024. Tuttavia, data la sua implementazione graduale e progressiva, soprattutto riguardo alle quote minime di SAF ed e-Fuels negli aeroporti dell'Unione Europea, le misure indicate negli *Articoli 4,5,6,7,8 e 10* saranno rese obbligatorie a partire dal 1° gennaio 2025. Da quel momento in avanti, le disposizioni diventeranno sempre più rigorose anno dopo anno. Questa tempistica è stata deliberatamente pianificata per concedere agli operatori aerei il tempo necessario a adottare tutte le misure richieste per conformarsi alle nuove normative. È importante sottolineare che, per apportare cambiamenti significativi nell'industria dell'aviazione in termini di combustibili sostenibili, sono necessarie importanti implementazioni tecniche, organizzative e infrastrutturali, le quali richiedono tempo e risorse considerevoli. Allo stesso tempo, è essenziale rispettare gli adempimenti stabiliti, poiché le violazioni comporteranno sanzioni economiche significative, enfatizzando l'importanza del rispetto delle normative, per il progresso e la sostenibilità del settore dell'aviazione.

Tuttavia, come evidenziato dall'*International Trade Administration* [91], l'Unione Europea si troverà ad affrontare una serie di impegni nel corso del 2024, incluse le elezioni per il Parlamento Europeo, il conseguenziale processo di nomina della nuova Commissione e il tradizionale periodo di pausa estiva. Un'agenda così impegnata ha suscitato dubbi tra gli operatori del settore dell'aviazione sulla fattibilità di implementare un sistema di "*Book-and-Claim*" (approfondito successivamente nell'analisi dello schema volontario di certificazione RSB) entro il 1° gennaio 2025, data in cui tali disposizioni diventeranno vincolanti.

2.3 CORSIA

Nel 2016, a seguito della trentanovesima Assemblea Generale di ICAO – Risoluzione A39-3¹² - è stato adottato il programma noto come *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*, la prima misura globale basata sul mercato per uno specifico settore¹³. Questo schema conferma l’obiettivo aspirazionale – definito già nel 2013 – di stabilizzare le emissioni di CO₂ provenienti dai voli internazionali, ai livelli del 2020. [100]

2.3.1 Contesto e campo d’applicazione

CORSIA opera seguendo un approccio basato sulle rotte, e trova applicazione nei voli internazionali. Come riportato all’interno della Risoluzione A41-22 dell’Assemblea Generale di ICAO[101], il *Paragrafo 10* definisce “la copertura dell’offsetting di CORSIA sulla base delle rotte tra Stati, al fine di minimizzare le distorsioni di mercato tra operatori di aeroplani sulle stesse rotte”. Un approccio di questo tipo, dunque, garantisce un trattamento paritario per tutti gli operatori di una determinata rotta. In particolare, come illustrato nella Figura 21, il testo stabilisce che:

- “Una rotta è soggetta all’offsetting di CORSIA se entrambi gli Stati che collegano la rotta partecipano al programma”[104];
- “Una rotta non è soggetta all’offsetting di CORSIA se uno o entrambi gli Stati che collegano la rotta non partecipano al programma”[104].

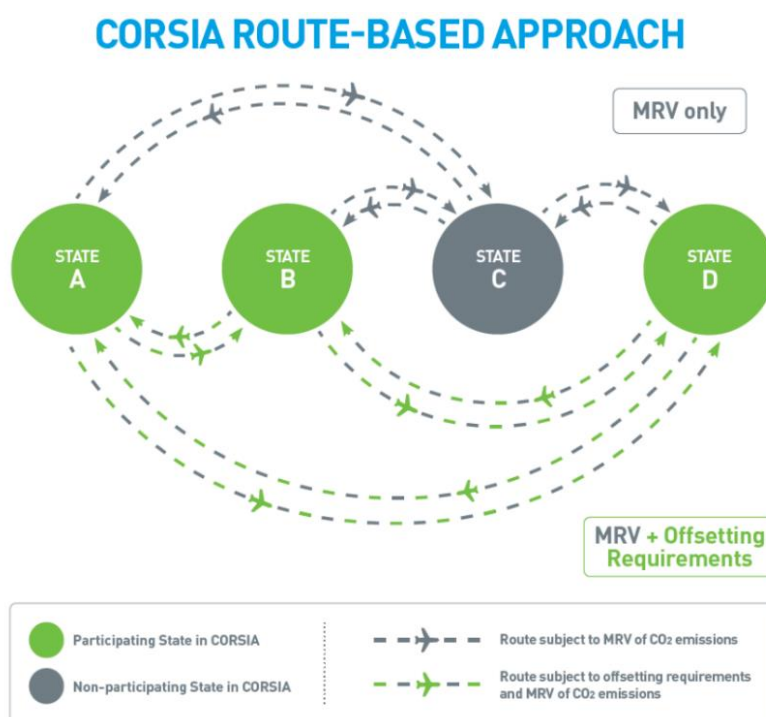


Figura 21 – CORSIA, approccio basato sulle rotte

FONTE: ICAO, CORSIA

¹² Dichiarazione consolidata delle politiche e pratiche Di ICAO in corso, relative a protezione ambientale e a Market Based Measures (MBM). [99]

¹³ Fonte: ICAO, Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

Per una completa comprensione del contesto e del campo di applicazione di CORSIA, è opportuno sottolineare l'esistenza di una distinzione tra i requisiti di compensazione di CORSIA e i requisiti di Monitoraggio, Raportistica e Verifica (Monitoring, Reporting and Verification – MRV).

Nello specifico, il sistema di MRV stabilisce che ogni operatore¹⁴ che effettui dei voli internazionali ha l'obbligo di monitorare, segnalare e verificare le emissioni di carbonio, riportando i dati alla cosiddetta *Autorità Amministrativa*, ovvero all'ente nazionale designato. Il sistema di MRV è stato reso effettivo a partire dal 1° gennaio 2019, e gli operatori hanno l'obbligo di fornire questo tipo di informazioni su base annua.

Si fa dunque notare che, nonostante i voli internazionali tra Paesi non aderenti a CORSIA siano esentati dall'osservanza dei requisiti di compensazione, essi rimangono comunque soggetti al sistema MRV.

A partire dal 1° gennaio 2021, data di avvio della Fase Pilota di CORSIA, i voli internazionali tra Stati che aderiscono a CORSIA devono conformarsi oltre che al sistema MRV, anche ai requisiti di compensazione stabiliti da ICAO.

Tuttavia, benché i voli tra Stati non aderenti al programma, così come quelli tra un Paese partecipante e uno non partecipante, siano esclusi dall'adempimento dei requisiti di compensazione di CORSIA, essi continuano ad essere soggetti ad uno schema semplificato di rendicontazione.

Infine, per quanto concerne i Paesi che hanno optato per l'adesione a CORSIA a partire dal 1° gennaio 2024, si registra attualmente un totale di 126 adesioni. Per una visione esaustiva e dettagliata degli Stati partecipanti, è possibile consultare il documento ufficiale dell'ICAO "*CORSIA States for Chapter 3 State Pairs*", da cui si riporta una lista completa e approfondita degli Stati partecipanti (Figura 22).

¹⁴ *CORSIA si applica esclusivamente all'aviazione civile internazionale. Di conseguenza, i voli statali sono esclusi dall'ambito del programma. I voli statali includono quelli militari, doganali e di polizia. Inoltre, sono previste diverse esenzioni di natura tecnica, precisamente:*

- *Operazioni con aeromobili con una Massa Massima al Decollo (Maximum Take Off Mass - MTOM) inferiore o uguale a 5.700 kg;*
- *Operazioni umanitarie, mediche e antincendio;*
- *Operatori il cui totale annuo di emissioni di CO2 dall'aviazione internazionale sia inferiore o uguale a 10.000 tonnellate.*

Queste operazioni di volo sono esentate da CORSIA e non sono soggette a nessuno dei suoi requisiti di monitoraggio, reportistica e verifica (MRV) o di compensazione. [93]

Afghanistan	Germany	New Zealand
Albania	Ghana	Nigeria
Antigua and Barbuda	Greece	North Macedonia
Armenia	Grenada	Norway
Australia	Guatemala	Oman
Austria	Guyana	Palau
Azerbaijan	Haiti	Papua New Guinea
Bahamas	Honduras	Philippines
Bahrain	Hungary	Poland
Barbados	Iceland	Portugal
Belgium	Indonesia	Qatar
Belize	Iraq	Republic of Korea
Benin	Ireland	Republic of Moldova
Bosnia and Herzegovina	Israel	Romania
Botswana	Italy	Rwanda
Bulgaria	Jamaica	Saint Kitts and Nevis
Burkina Faso	Japan	Saint Vincent and the Grenadines
Cambodia	Kazakhstan	Samoa
Cameroon	Kenya	San Marino
Canada	Kiribati	Saudi Arabia
Cook Islands	Kuwait	Serbia
Costa Rica	Latvia	Seychelles
Côte d'Ivoire	Lithuania	Sierra Leone
Croatia	Luxembourg	Singapore
Cuba	Madagascar	Slovakia
Cyprus	Malawi	Slovenia
Czechia	Malaysia	Solomon Islands
Democratic Republic of the Congo	Maldives	South Sudan
Denmark	Mali	Spain
Dominican Republic	Malta	Suriname
Ecuador	Marshall Islands	Sweden
El Salvador	Mauritius	Switzerland
Equatorial Guinea	Mexico	Thailand
Estonia	Micronesia (Federated States of)	Timor-Leste
Finland	Monaco	Tonga
France	Montenegro	Trinidad and Tobago
Gabon	Namibia	Türkiye
Gambia	Nauru	Tuvalu
Georgia	Netherlands	Uganda
		Ukraine
		United Arab Emirates
		United Kingdom
		United Republic of Tanzania
		United States
		Uruguay
		Vanuatu
		Zambia
		Zimbabwe

Figura 22 – Stati attualmente partecipanti al programma CORSIA

FONTE: ICAO, CORSIA

2.3.2 Target

Al fine di comprendere le ragioni alla base dell'istituzione di CORSIA e dei suoi obiettivi, è essenziale delineare il ruolo e le funzioni dell'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO - International Civil Aviation Organization).

Fondata nel 1947, l'ICAO *“promuove l'elaborazione e l'adozione di norme internazionali e convenzioni in materia di navigazione aerea, trasporto di passeggeri e merci, sicurezza del trasporto aereo”* [94].

Gli obiettivi di lungo termine fissati dall'*Accordo di Parigi* (12 dicembre 2015) [95], tra cui il limite di aumento di temperatura di 1,5°C fino alla fine del secolo, e la conseguente riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, coinvolgono inevitabilmente tutti i settori.

L'ICAO, dunque, è l'organismo preposto a guidare il settore dell'aviazione internazionale [96] verso il raggiungimento di ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione, identificando misure volte alla riduzione delle emissioni di CO₂ e promuovendo iniziative finalizzate a mitigare l'impatto ambientale dell'aviazione.

A tale scopo, l'ICAO ha identificato tre obiettivi principali a cui il settore dovrebbe aspirare [98]:

- Un miglioramento annuale dell'efficienza del carburante del 2% fino al 2050.
- La realizzazione di una crescita neutra dal punto di vista delle emissioni di carbonio a partire dal 2020, conosciuta come "Carbon Neutral Growth" (CNG 2020).
- L'ambizione di conseguire un obiettivo globale a lungo termine in termini di emissioni nette zero.

In questo contesto, dunque, CORSIA emerge come uno strumento di mercato concepito per supportare gli obiettivi primari dell'ICAO, focalizzato sulla compensazione delle emissioni di CO₂ nel settore dell'aviazione internazionale.

Prima di analizzare gli obiettivi specifici di compensazione e riduzione delle emissioni di CO₂, è essenziale chiarire che CORSIA non è stato concepito con l'intento di sostituire le misure tecnologiche, operative e infrastrutturali nel settore dell'aviazione. Queste ultime, che mirano a introdurre innovazioni significative, per ridurre drasticamente le emissioni di carbonio, aspirano idealmente a raggiungere livelli prossimi allo zero. Al contrario, CORSIA agisce come una misura di medio termine, fungendo da strumento di mercato per stabilizzare i livelli attuali di emissioni. Tale approccio permette lo sviluppo di soluzioni più radicali nel lungo termine, evitando al contempo di raggiungere un punto critico irreversibile riguardo alle emissioni di gas serra [97].

In linea con questo principio, l'obiettivo principale di CORSIA è quello di limitare la crescita delle emissioni nette di CO₂ ai livelli del 2019. Originariamente, la *baseline* di CORSIA, ossia il punto di riferimento per il calcolo dei requisiti di compensazione delle compagnie aeree nell'ambito dell'accordo, era definita come la media delle emissioni del settore tra il 2019 e il 2020. Basandosi su tali dati, CORSIA intendeva mitigare, nel periodo 2021-2035, circa 2,5 miliardi di tonnellate di CO₂, con una media annua di 164 milioni di tonnellate di CO₂.

Tuttavia, il drastico calo della domanda per il trasporto aereo causato dalla pandemia di COVID-19 ha alterato la *baseline* originariamente stabilita da CORSIA negli anni precedenti.

Ciò avrebbe imposto obiettivi irrealistici per gli operatori aerei, i quali, una volta che la domanda per il trasporto aereo si fosse stabilizzata nuovamente ai livelli pre-pandemici, avrebbero comunque dovuto garantire un livello di emissioni uguale o inferiore alla *baseline* del biennio 2019-2020.

Per evitare tale situazione, che avrebbe aggravato ulteriormente un settore già indebolito economicamente dalle difficoltà del COVID-19, il Consiglio di ICAO, nel giugno 2020, ha deciso di utilizzare esclusivamente il livello di emissioni del 2019 come punto di riferimento per gli operatori del settore aereo per il periodo 2021-2023[101].

Successivamente, a seguito della quarantunesima Assemblea ICAO tenutasi nell'ottobre 2022 [101], è stato stabilito che, per il periodo 2024-2035, l'obiettivo sarà mantenere le emissioni di carbonio all'85% dei livelli del 2019.

La Figura 23 offre una rappresentazione grafica del contributo di CORSIA verso il conseguimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂.

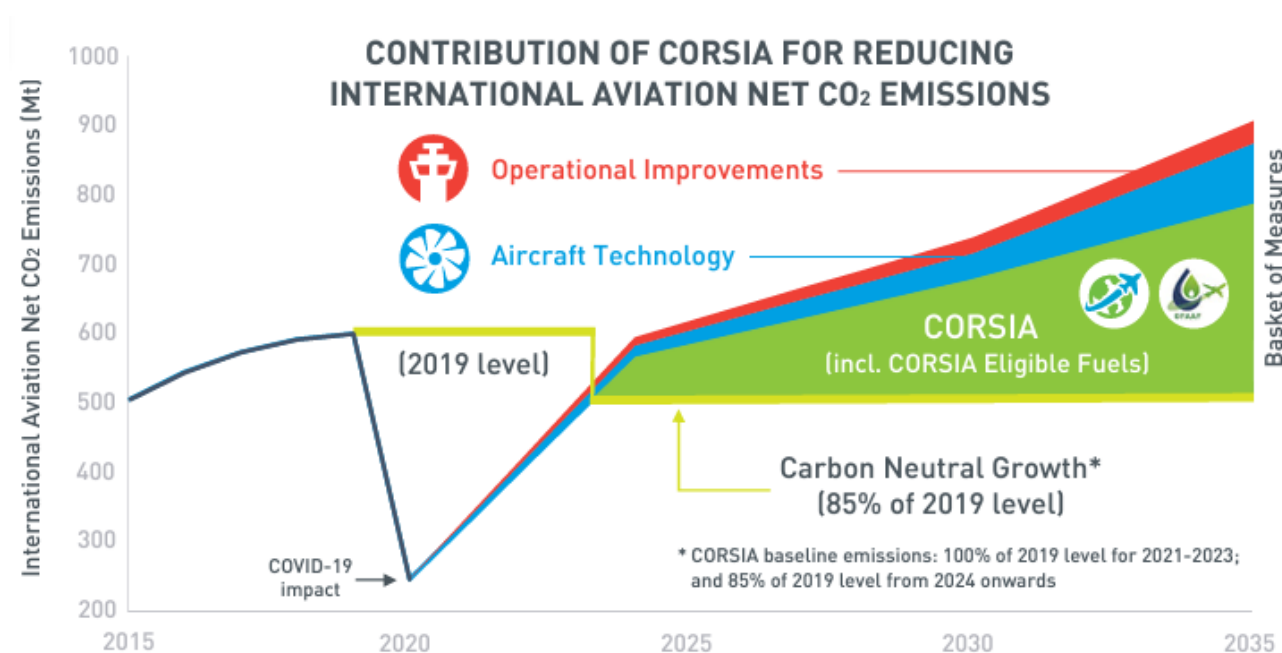


Figura 23 – Contributo di CORSIA verso il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂

Fonte: ICAO, CORSIA

2.3.3 Periodo transitorio/obbligatorio

All'interno del *Paragrafo 9* della *Risoluzione A41-22* [101] sono delineate le tre fasi di implementazione di CORSIA, nonché le modalità di partecipazione degli Stati coinvolti nel programma. La suddetta risoluzione conferma la decisione, precedentemente stabilita durante la trentanovesima Assemblea Generale di ICAO, di suddividere l'implementazione di CORSIA in tre fasi. Tale decisione, come esplicitato nel documento stesso, mira a *“accomodare le circostanze speciali e le rispettive capacità degli Stati, in particolare degli Stati in via di sviluppo, riducendo al minimo le distorsioni di mercato”* [101].

Ad ogni modo, come segnalato nel Manuale su CORSIA di IATA, *“l'implementazione in fasi riguarda solo i requisiti di compensazione. Tutti gli operatori che emettono più di 10.000 tonnellate di CO₂ all'anno su voli internazionali devono monitorare e segnalare le emissioni per tutti i voli internazionali a partire dal 1° gennaio 2019, inclusi i voli da e verso gli Stati esenti.”*[93]

Le fasi individuate da ICAO sono le seguenti:

1. **Fase Pilota** (2021- 2023)
2. **Prima Fase** (2024 – 2026)
3. **Seconda Fase** (2027 – 2035)

Le prime due fasi, ossia la Fase Pilota (2021- 2023) e la Prima Fase (2024 – 2026), prevedono la possibilità, da parte di ciascun Paese, di scegliere se aderire *volontariamente* al sistema di compensazione. Tuttavia, a partire dal 2027, con l'inizio della Seconda Fase, l'adesione a CORSIA sarà resa *obbligatoria* per tutti gli Stati membri.

Come precedentemente menzionato, durante il periodo compreso tra il 2021 e il 2026 - Fase Pilota e Prima Fase - i criteri di compensazione saranno applicati esclusivamente ai voli internazionali tra i Paesi che partecipano volontariamente al programma. Saranno, inoltre, soggetti all'iniziativa tutti i voli che si svolgono tra due Paesi partecipanti volontariamente, anche nel caso in cui l'operatore aereo abbia la sua sede in uno Stato non volontario. La categoria residuale dei voli esclusi dall'adempimento ai criteri di compensazione comprende le tratte tra Stati che non partecipano volontariamente al programma e i cui operatori aerei non risiedono in un Paese volontario.

La Figura 24 illustra graficamente il concetto appena esposto. Gli Stati A, D ed E rappresentano i Paesi che aderiscono volontariamente all'iniziativa, mentre i restanti (B,C ed F) non partecipano. È possibile notare come le tratte tra due Stati volontari (↔) siano le uniche soggette ai requisiti di compensazione.

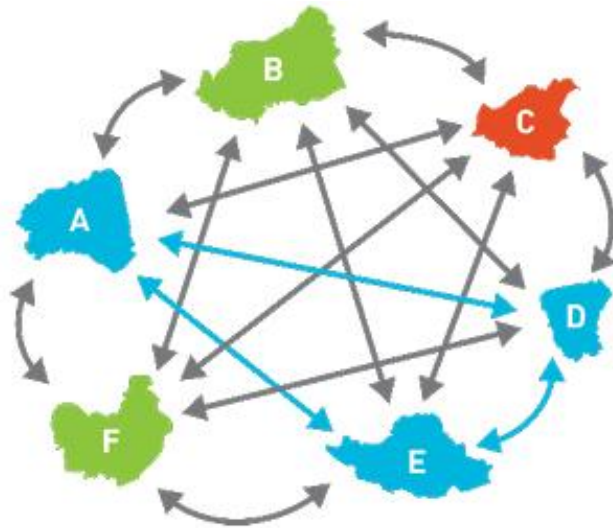


Figura 24 – Applicazione dei requisiti CORSIA durante la Fase Pilota e la Prima Fase

Fonte: IATA

Tra la Prima Fase e la Fase Pilota, non vi sono differenze nei requisiti imposti agli operatori. La distinzione risiede invece nella modalità di determinazione di tali requisiti da parte di ciascuno Stato.

Durante la Fase Pilota, agli Stati volontari è stata concessa la facoltà di scegliere tra due modalità disponibili. Essi potevano decidere autonomamente di “*utilizzare le emissioni degli operatori aerei coperte da CORSIA in un dato anno (ossia 2021, 2022 e 2023)*”, oppure, in alternativa, di “*utilizzare le emissioni degli operatori aerei per l’anno 2019*”.

Con l’inizio della Prima Fase, a partire dal 2024, la determinazione dei requisiti da rispettare è basata esclusivamente sulle emissioni di un dato anno (2024, 2025 e 2026).

L’inizio della Seconda Fase, infine, eliminerà la possibilità di scelta da parte dei Paesi membri di aderire o meno al programma, e i requisiti di compensazione verranno applicati obbligatoriamente a tutti i Paesi membri.

Tuttavia, questa imposizione viene accompagnata da disposizioni riguardanti eventuali esenzioni. All’interno del *Paragrafo 9e* del *Regolamento A41-22* sono delineati i criteri attraverso i quali uno Stato può optare per la non-adesione all’iniziativa. Per quanto concerne i parametri associati all’attività del settore aereo, sono previste le seguenti categorie di esenzione:

- gli Stati la cui quota individuale delle attività internazionali dell’aviazione in RTKs¹⁵ nell’anno 2018 è inferiore allo 0,5% del totale delle RTKs;
- gli Stati che non fanno parte dell’elenco degli Stati che rappresentano il 90% del totale delle RTK quando vengono ordinati dall’ammontare più alto a quello più basso delle RTK individuali.

In relazione ai criteri socioeconomici, invece, si riscontrano deroghe per tutti i Paesi classificati come meno sviluppati, i piccoli Stati insulari in via di sviluppo e i Paesi privi di sbocchi sul mare in fase di sviluppo, indipendentemente dalle loro quote di RTKs rispetto al totale di RTKs dell’aviazione internazionale.

¹⁵ Revenue Tonne Kilometers (Ricavi per Tonnellata/Chilometro). “*I Revenue Tonne Kilometers o RTKs rappresentano la capacità utilizzata (o venduta) per passeggeri e merci espressa in tonnellate metriche, moltiplicata per la distanza percorsa. In altre parole, i livelli di RTK corrispondono al volume dell’attività di trasporto aereo. Quando un operatore aereo trasporta più passeggeri e merci su una distanza più lunga, i livelli di RTK dell’operatore aumentano.*”[106]

Infine, è importante precisare che, all’inizio di ogni anno, i Paesi esentati conservano comunque la facoltà di aderire volontariamente al programma, previa comunicazione a ICAO.

Nella Figura 25 viene illustrata graficamente la situazione che si manifesterà con l’inizio della Seconda Fase. CORSIA verrà applicata a tutti i voli internazionali, inclusi quelli tra Paesi che non hanno aderito volontariamente alle prime due fasi (↔, ↔). Gli unici voli esclusi riguarderanno quelli che partono o che atterrano in uno Stato esentato (C), ovvero in possesso dei requisiti descritti sopra.

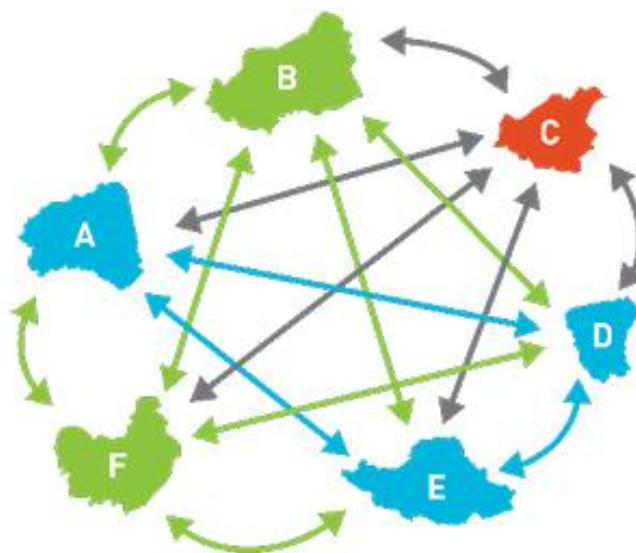


Figura 25 - Applicazione dei requisiti CORSIA durante la Seconda Fase

Fonte: IATA

Per concludere, la Figura 26 riporta la linea temporale relativa alle tre Fasi di implementazione analizzate.

MRV		Fase Pilota			Prima Fase			Seconda Fase								
2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Monitoring, Reporting and Verification (MRV) per definire il livello di riferimento (Baseline)		VOLONTARIO						OBBLIGATORIO								
		Gli stati aderiscono volontariamente allo schema, a partire dal 2021 (più Stati sono incoraggiati a partecipare volontariamente).						Con esenzioni per: Paesi Meno Sviluppati, Piccoli Stati Insulari in Via di Sviluppo e Paesi Senza Accesso al Mare in Via di Sviluppo e Stati che registrano una quota del traffico aereo inferiore allo 0,5% (sebbene essi possano comunque partecipare volontariamente).								

Figura 26 - Schema Fasi di Implementazione CORSIA

Fonte: Aviation Benefits, CORSIA Explained

2.3.4 Requisiti principali

I requisiti di compensazione rappresentano la parte centrale del programma CORSIA, poiché costituiscono un elemento fondamentale per garantire la riduzione delle emissioni di CO₂ nel campo dell'aviazione internazionale.

I requisiti sono implementati attraverso cicli di conformità triennali, durante i quali gli operatori aerei hanno l'obbligo di compensare le proprie emissioni di CO₂ acquistando e annullando un certo numero di unità di emissione riconosciute da CORSIA. Queste ultime vengono identificate come Eligible Emissions Units (Unità di emissioni riconosciute da CORSIA)¹⁶.

Per quanto concerne i requisiti di compensazione, essi vengono stabiliti in base alle emissioni di CO₂ dei singoli operatori. Questi sono tenuti, infatti, a fornire annualmente tali dati allo Stato a cui sono stati assegnati a livello amministrativo.

A partire dal 1° gennaio 2021, gli Stati partecipanti dovranno calcolare i rispettivi requisiti di compensazione annuali per ciascun operatore moltiplicando le emissioni coperte dagli obblighi di compensazione di CORSIA per un determinato tasso di crescita.

Il *Paragrafo 11* della *Risoluzione A41-22* stabilisce i criteri secondo i quali l'ammontare totale delle emissioni di carbonio che deve essere compensato nell'arco di un anno viene distribuito ai singoli operatori. Sono stati individuati due percorsi: da un lato un approccio settoriale – utilizzando il tasso di crescita delle emissioni del settore¹⁷ - dall'altro un approccio individuale – utilizzando il tasso di crescita delle emissioni dei singoli operatori¹⁸.

Per il periodo che va dal 2021 al 2032, il calcolo per i requisiti presenterà un approccio esclusivamente settoriale (100%), mentre tra il 2033 e il 2035 i requisiti verranno calcolati utilizzando sia il tasso di crescita settoriale (ponderato all'85%), sia il tasso di crescita individuale dei singoli operatori (ponderato al 15%).

Una volta definiti i requisiti per ciascun operatore, ogni tre anni sarà loro richiesto di acquistare e successivamente annullare una specifica quantità di unità di emissione certificata da CORSIA (Eligible Emissions Units), corrispondente ai requisiti originariamente stabiliti.

Ogni unità di emissione deve soddisfare il principio dell'*addizionalità*, il che implica che la riduzione o l'eliminazione della CO₂ non derivi da un'attività ordinaria dell'operatore, ma debba risultare aggiuntiva. Per semplificare il concetto, come indicato nel Manuale su CORSIA di IATA, gli operatori sono tenuti a rispondere alla seguente domanda: *“La realizzazione del progetto (di riduzione o eliminazione di CO₂) sarebbe avvenuta comunque?”*[93].

¹⁶ *“Le unità di emissione si generano quando le emissioni da un progetto o programma specifico vengono ridotte rispetto a un valore di base (o scenario di riferimento), mediante l'attuazione di tecniche/tecnologie di riduzione delle emissioni. Questi progetti o programmi possono essere implementati in vari settori, quali la generazione di energia elettrica, i processi industriali, l'agricoltura, la silvicoltura, la gestione dei rifiuti, ecc. Le unità di emissione sono talvolta anche indicate come crediti di carbonio.”* e, come definito da ICAO, *“una unità di emissione rappresenta una tonnellata di emissioni di CO₂ ridotte”*.

Fonte: Annex 16 - Environmental Protection - Volume IV - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), 2nd Edition, July 2023

¹⁷ *“Rappresenta la crescita media globale delle emissioni del settore dell'aviazione internazionale in un determinato anno. Sarà applicato come un fattore comune per tutti gli operatori individuali che partecipano al programma per il calcolo dei loro requisiti di compensazione. L'ICAO calcolerà il fattore di crescita del settore ogni anno basandosi sui dati sulle emissioni di CO₂ segnalati dagli Stati all'ICAO.”*[101]

¹⁸ *“Rappresenta il fattore di crescita delle emissioni di un singolo operatore in un dato anno.”*[101]

In caso di risposta affermativa, tale attività non potrà essere considerata all'interno del computo finale per valutare l'adempimento dei requisiti da parte dell'operatore.

Parallelamente, sebbene il progetto che mira alla riduzione o all'eliminazione delle emissioni di carbonio soddisfi il criterio di addizionalità, è essenziale assicurare che esso non comporti un aumento non intenzionale delle emissioni in altre aree. Questo è fondamentale per garantire che la riduzione effettiva delle emissioni di CO₂ sia conseguita senza generare impatti negativi su altre fonti di emissioni.

Oltre alle operazioni di acquisto e vendita di Eligible Emissions Units, gli operatori aerei possono ridurre i propri requisiti di compensazione utilizzando carburanti ammessi da CORSIA che soddisfano i criteri di sostenibilità¹⁹.

Affinché gli operatori possano beneficiare di una riduzione dei requisiti di compensazione attraverso questa modalità, è necessario che questo tipo di carburanti sia certificato dallo Schema di Certificazione di Sostenibilità (*Sustainability Certification Scheme - SCS*), approvato da ICAO.

L'ottenimento di questa certificazione garantisce il rispetto dei criteri definiti all'interno del documento di ICAO "*Criteri di sostenibilità CORSIA per i carburanti idonei al CORSIA*" ("*CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*").

Infine, con la *Risoluzione A39-3*, ICAO ha istituito un Organo Consultivo Tecnico (*Technical Advisory Body – TAB*), il quale possiede il compito di valutare e di consigliare il Consiglio in materia di Eligible Emissions Units, al fine di stabilire quali progetti e quali attività possiedano i requisiti necessari per poter essere approvati in CORSIA.

¹⁹L'Annex 16, Volume IV fornisce le seguenti definizioni a questo riguardo:

- *Carburante idoneo per CORSIA (Eligible Fuel): "Un carburante per l'aviazione sostenibile CORSIA o un carburante per l'aviazione a basso contenuto di carbonio CORSIA, che un operatore può utilizzare per ridurre i propri requisiti di compensazione."*
- *Carburante per l'aviazione sostenibile CORSIA (Sustainable Aviation Fuel): "Un carburante per l'aviazione rinnovabile o derivato da rifiuti che soddisfa i Criteri di sostenibilità CORSIA in questo Volume."*
- *Carburante per l'aviazione a basso contenuto di carbonio CORSIA (Lower Carbon Aviation Fuel): "Un carburante per l'aviazione a base fossile che soddisfa i Criteri di sostenibilità CORSIA in questo Volume."*

Fonte: Annex 16 - Environmental Protection - Volume IV - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), 2nd Edition, July 2023)

2.3.5 CORSIA in Europa

L'integrazione di CORSIA nell'ambito normativo dell'EU ETS (*Emission Trading System*), descritto precedentemente, è stata condotta in Europa seguendo una serie di fasi e regolamentazioni. A seguito della "*Dichiarazione di Bratislava*" del 3 settembre 2016, gli Stati membri dell'Unione Europea hanno manifestato all'ICAO la loro volontà di partecipare al programma CORSIA. Tale adesione è stata pianificata in modo che coincidesse con l'avvio della Fase Pilota, programmata per il 1° gennaio 2021.

Con l'approvazione del Regolamento UE 2392/2017 del 13 dicembre 2017 [111] è stato formalmente avviato il processo di integrazione di CORSIA nell'ambito europeo. Tale deliberazione è stata adottata con l'obiettivo di evitare l'imposizione di ulteriori oneri amministrativi agli operatori del settore aereo. [112]

Dal 1° gennaio 2019, con l'entrata in vigore del *Regolamento (UE) 2018/2066* [113] emanato dalla Commissione Europea, è stato attivato il sistema di monitoraggio e segnalazione delle emissioni, in conformità al *Regolamento MRR (Monitoring and Reporting Regulation) n. 601/2012* [114]. Tale sistema non si limita esclusivamente alla verifica della conformità agli standard stabiliti dall'EU ETS, ma comprende anche il monitoraggio delle emissioni in vista dell'implementazione di CORSIA. Ciò si traduce nella possibilità, per gli operatori del settore aereo, di adottare un unico piano di monitoraggio per soddisfare gli obblighi di entrambi i regimi, con conseguente semplificazione delle procedure e riduzione della complessità burocratica.

Inoltre, il *Regolamento (UE) AVR (Accreditation and Verification Regulation) n. 2018/2067* [115] svolge un ruolo significativo nella corretta implementazione di CORSIA in Europa. Esso, infatti stabilisce requisiti e standard per la definizione e l'accreditamento degli organismi incaricati della verifica dei dati raccolti tramite il sistema di monitoraggio (*MRR*). La conformità a tali requisiti garantisce che gli enti conducano le loro attività in modo indipendente, accurato e in piena conformità con le normative vigenti. Tale approccio favorisce una supervisione accurata dei livelli di emissioni dichiarati dagli operatori del settore aereo, sia nell'ambito dell'EU ETS che di CORSIA.

CAPITOLO TERZO

SCHEMI VOLONTARI DI CERTIFICAZIONE

Gli schemi volontari di certificazione nel settore dell'aviazione hanno il compito fondamentale di promuovere la sostenibilità ambientale e sociale, attraverso il rilascio di attestati a garanzia della compliance agli standard nazionali e internazionali del settore. Tali meccanismi di certificazione contribuiscono ad assicurare importanti risultati in tema di deforestazione, compensazione di emissioni, rispetto di requisiti di sostenibilità e miglioramento di trasparenza e tracciabilità all'interno di tutta la catena di fornitura. [118]

Tra i vari schemi volontari nell'industria dell'aviazione, spiccano organizzazioni di rilievo come l'*International Sustainability and Carbon Certification (ISCC)*, il *Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)* e il *Biomass Biofuels Sustainability Voluntary Scheme (2BSvs)*. Questi programmi forniscono agli operatori della filiera un quadro chiave per valutare e migliorare le proprie pratiche operative.

3.1 ISCC

L'*International Sustainability and Carbon Certification (ISCC)* si identifica come “*uno schema di certificazione della sostenibilità applicabile a livello globale e copre tutte le materie prime sostenibili, compresi biomasse agricole e forestali, materiali biologici e circolari e fonti rinnovabili*” [119]. Al fine di garantire una categorizzazione più chiara, l'ISCC ha suddiviso i materiali coperti in quattro aree distintive:

1. **Biologici.** I materiali biologici provengono da biomasse vergini, costituendo la frazione biodegradabile dei prodotti dell'agricoltura, della silvicoltura e delle industrie correlate, come la pesca e l'acquacoltura.
2. **Biologici-circolari.** I materiali biologici circolari derivano da scarti e residui di origine biologica dell'agricoltura, della silvicoltura e delle industrie correlate, inclusa la pesca e l'acquacoltura, oltre alla componente biodegradabile dei rifiuti urbani industriali.
3. **Circolari.** I materiali circolari si ottengono tramite il trattamento meccanico e/o chimico di materiali riciclabili di origine non biologica, ossia di origine fossile.
4. **Rinnovabili.** I materiali rinnovabili derivano da processi che impiegano fonti di energia rinnovabile.

Attualmente, con oltre 9000 certificati attivi (oltre 55.000 emessi sin dalla sua istituzione) in 140 Paesi nel mondo, l'ISCC rappresenta il più grande sistema di certificazione del genere. Fondato come un sistema aperto multi-stakeholder²⁰, è gestito da un'associazione composta da oltre 270 membri, tra cui Organizzazioni Non Governative (ONG) e istituti di ricerca.

²⁰ Che mira al coinvolgimento di più soggetti interessati a un'attività. [120]

La Figura 27 illustra, oltre ai numeri appena esposti, anche ulteriori dati, tra cui l'attuale numero di utenti del sistema, il totale degli auditors ISCC formati, il numero dei corsi formativi condotti e il numero degli attuali enti certificatori che collaborano con ISCC.



Figura 27 – Dati ISCC

Fonte: ISCC

La missione principale dell'ISCC è quella di “*utilizzare la certificazione come strumento per ridurre le emissioni di gas serra e stabilire una produzione sostenibile con catene di approvvigionamento completamente tracciabili dall'origine all'utente finale*”[121]. Attraverso il rilascio di certificati che attestano la compliance agli standard ISCC, si garantisce “*una catena di approvvigionamento completamente trasparente e priva di deforestazione e la protezione delle terre con un alto valore di biodiversità e un alto stock di carbonio*”. È essenziale notare che gli standard ISCC non si limitano alla tutela ambientale, ma si estendono anche alla salvaguardia dei diritti umani e del lavoro.

Oltre al rilascio di certificati, l'ISCC fornisce agli operatori della filiera un prezioso supporto tecnico riguardante il calcolo, la verifica e la mitigazione delle emissioni di gas serra. Questa assistenza è cruciale per garantire la conformità agli standard e promuovere pratiche sostenibili lungo l'intera catena di approvvigionamento. Inoltre, grazie alla sua ampia copertura di tutte le materie prime sostenibili, l'ISCC è attivo in diverse aree di mercato, ciascuna focalizzata su specifici feedstock. È possibile individuare separatamente le singole macroaree di riferimento:

- Carburanti Sostenibili per il Trasporto Stradale
- Elettricità, Riscaldamento e Raffreddamento
- Economia Circolare e Biologica
- Cibo e Mangimi
- Carburanti per Aviazione Sostenibili
- Carburante Marino Sostenibile

Data la vasta portata dei mercati e dei feedstock che l'ISCC è in grado di includere, è emersa la necessità di adottare misure volte a fornire certificazioni adatte a contesti specifici. Pertanto, è essenziale lo sviluppo di particolari schemi di certificazione adatti a ciascun mercato. In merito, l'ISCC ha ottenuto diversi riconoscimenti in base al contesto di riferimento. Tra questi riconoscimenti figurano quelli conferiti dall'Unione Europea (*ISCC EU*), dal Regno Unito (obbligo di carburanti per il trasporto rinnovabile - *RTFO*), dal Governo giapponese (*ISCC Japan FIT*), dal Queensland (conformità al Regolamento sull'Approvvigionamento di Carburanti Liquidi) e dall'ICAO (*ISCC CORSIA*). Inoltre, lo schema *ISCC PLUS* consente di fornire certificazioni per feedstock e prodotti appartenenti a mercati non regolamentati [122].

Prima di procedere con un'analisi dettagliata degli schemi menzionati, è opportuno evidenziare che, al di sotto di tali quadri normativi generali, esistono enti terzi volontari che operano a livello nazionale. Una volta ricevuto il riconoscimento e l'accettazione da parte di ISCC, come anche da altri schemi volontari di certificazione, questi organismi sono incaricati di condurre le attività di audit volte al conseguimento delle certificazioni da parte degli operatori interessati.

3.1.1 ISCC EU

L'ISCC EU è stato ufficialmente riconosciuto e accettato dalla Commissione Europea nel 2011 con l'obiettivo di attestare in modo tracciabile e trasparente la conformità ai requisiti legali delineati dalla *Direttiva Europea UE 2009/28/EC (RED I)* e dalla successiva *Direttiva 2018/2001/EU (RED II)* [123]. Questo riconoscimento riguarda appositamente i materiali e i carburanti disciplinati dalle suddette direttive.

I requisiti in questione sono principalmente legati alla verifica dei criteri di riduzione delle emissioni di gas serra derivanti dall'impiego di biocarburanti, nonché alla produzione di elettricità, riscaldamento e raffreddamento provenienti da biomasse²¹.

²¹ Nello specifico, come segnalato da ISCC, i materiali coperti dalle certificazioni ISCC sono quelli definiti da RED II, ovvero:

- *“Biomassa agricola e forestale, rifiuti e residui (incluse le scorie agricole, ittiche, forestali e quelle derivanti dall'acquacoltura), materiali lignocellulosici e cellulosici non-alimentari per la produzione di biocarburanti, bioliquidi e carburanti da biomassa, compresi biocarburanti avanzati e biogas per il trasporto (cioè biocarburanti e biogas prodotti da materie prime elencate nella Parte A dell'Allegato IX della RED II) e biocarburanti, bioliquidi e carburanti da biomassa con un basso rischio o un alto rischio di cambiamento di destinazione indiretto del suolo (iLUC).*
- *Flussi di rifiuti liquidi e solidi di origine non rinnovabile o processi di rifiuti e gas di scarico di origine non rinnovabile per la produzione di carburanti a base di carbonio riciclato.*
- *Energia derivata da fonti rinnovabili diverse dalla biomassa per la produzione di carburanti rinnovabili per il trasporto liquidi e gassosi di origine non biologica”.*

In aggiunta, *“la certificazione ISCC va oltre i requisiti legali della RED II poiché copre ulteriori requisiti ecologici e sociali”.* [124]

3.1.2 ISCC CORSIA

Considerata l'ampiezza degli attori coinvolti nell'iniziativa CORSIA, descritta nel Capitolo 2, risulta di fondamentale importanza definire un sistema che garantisca il rispetto dei requisiti e degli standard imposti da CORSIA da parte di tutti gli operatori nella catena di approvvigionamento dell'aviazione internazionale.

A questo scopo, l'ICAO si avvale della collaborazione dell'ISCC. L'ICAO ha autorizzato l'ISCC, attraverso lo schema ISCC CORSIA, a condurre la verifica della conformità dei carburanti rispetto ai parametri definiti da CORSIA. Dopo aver completato la verifica, l'ISCC è abilitato a comunicare all'ICAO i carburanti che soddisfano i requisiti del programma CORSIA, qualificandoli come Eligible Fuel. I materiali oggetto di verifica, dunque, riguardano *“materie prime agricole e forestali, rifiuti, residui e sottoprodotti”* [125].

3.1.3 ISCC Japan FIT (Feed-in-Tariff)

Il Japan Feed-in-Tariff (FIT) è responsabile della regolamentazione di un sistema di incentivi per la produzione di elettricità derivante da fonti rinnovabili in Giappone. A seguito dell'emanazione, da parte del Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria giapponese, dei requisiti necessari per l'utilizzo di gusci di noce di palma e tronchi di palma nella generazione di energia, lo standard ISCC Japan FIT assume il compito di verificare e certificare tali prodotti, garantendone la conformità ai requisiti prescritti.

3.1.4 ISCC PLUS

Secondo quanto riportato nei documenti ufficiali di ISCC, ISCC PLUS viene definito come uno *“schema volontario applicabile all'economia bio e circolare per cibo, mangimi, prodotti chimici, plastica, imballaggi, tessuti e materie prime rinnovabili derivanti da processi che impiegano fonti di energia rinnovabile”*. Questo schema si basa sui requisiti stabiliti da ISCC EU, garantendo che i materiali certificati secondo ISCC PLUS rispondano agli stessi standard. Tuttavia, ISCC PLUS trova applicazione in contesti al di fuori del campo d'azione della Direttiva RED II. In virtù di questa caratteristica, la certificazione ISCC PLUS è flessibile e può essere adattata alle esigenze specifiche di mercato in base ai diversi contesti di applicazione. [126]

3.1.5 Loghi ISCC

Dopo aver ottenuto la certificazione da parte di ISCC, la conformità ai requisiti dei vari prodotti viene segnalata mediante l'utilizzo di loghi specifici. Tali loghi agevolano la comunicazione delle caratteristiche dei materiali certificati sia ai consumatori che agli operatori. L'ottenimento della certificazione permetterà agli operatori di effettuare scelte d'acquisto trasparenti e ben informate, contribuendo così a promuovere la sostenibilità lungo l'intera catena di approvvigionamento. Inoltre, le aziende certificate ISCC saranno soggette a controlli annuali supplementari, mirati a garantire quantomeno il mantenimento delle qualità dei materiali originariamente certificati.

Di seguito, vengono riportati alcuni loghi che segnalano l'avvenuta certificazione di diverse tipologie di materiali, accompagnati dalla descrizione fornita direttamente da ISCC.

Materiali circolari

Insieme a una dichiarazione di qualifica attorno al logo, il simbolo del "ciclo" può essere utilizzato per tutti i prodotti certificati ISCC collegati a materie prime circolari. Le materie prime circolari sono materiali di origine non biologica derivati dal riciclaggio meccanico o chimico (ad esempio, rifiuti di plastica mista) – Figura 28.



Figura 28 – Materiali circolari, logo ISCC
Fonte: ISCC

Materiali bio-circolari

Insieme a una dichiarazione di qualifica attorno al logo, il simbolo del "leaf cycle" può essere utilizzato per tutti i prodotti certificati ISCC collegati a materie prime bio-circolari. Per bio-circolare si intendono i rifiuti e i residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dalle industrie correlate (ad esempio, l'olio esausto da cucina) - Figura 29.



Figura 29 – Materiali bio-circolari, logo ISCC

Fonte: ISCC

Materiali biologici

Insieme a una dichiarazione di qualifica attorno al logo, il simbolo del "germoglio" può essere utilizzato per tutti i prodotti certificati ISCC collegati a materie prime biologiche. Le materie prime biologiche sono materiali agricoli vergini (ad esempio, la canna da zucchero) - Figura 30.



Figura 30 – Materiali biologici, logo ISCC

Fonte: ISCC

3.2 RSB

Il *Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)* costituisce un'iniziativa globale volta all'implementazione di pratiche sostenibili nel settore dei biocarburanti. Fondato nel 2007 e successivamente registrato nel 2013 come organizzazione no-profit, l'RSB opera come una piattaforma multi-stakeholder che coinvolge attivamente rappresentanti e leader di svariati settori industriali, organizzazioni non governative, istituzioni accademiche, governi e altri attori interessati [131]. La comunità dell'RSB conta attualmente oltre 130 membri, inclusi produttori di materie prime, produttori di biocarburanti, consumatori, investitori e altri stakeholder coinvolti nella catena dei biomateriali.

Grazie alla varietà e alla diversità dei suoi membri, provenienti da sfere eterogenee, l'RSB si configura come un *"network collaborativo di organizzazioni globali che promuovono la transizione verso un'economia bio-based²² e circolare"* [132].

3.2.1 Framework di sostenibilità

In concomitanza con gli sforzi volti alla transizione verso un'economia più sostenibile, emerge un impegno mirato allo sviluppo e all'attuazione di un framework di sostenibilità. Tale sistema costituisce un riferimento cruciale per stabilire gli standard direttivi delle pratiche sostenibili all'interno del settore dei biomateriali. Fondato sui *"12 Principi e Criteri"* elaborati dall'RSB, il framework verrà esaminato in dettaglio in un paragrafo successivo.

²² *"Derivati da biomassa"* [128].

Tuttavia, è essenziale notare che lo schema è articolato in tre macroaree:

1. Membership
2. Programmi
3. Certificazione

Il programma di Membership dell'RSB è concepito principalmente per stimolare e favorire la collaborazione tra i suoi membri, mirando a massimizzare l'impatto delle iniziative sostenibili promosse dall'organizzazione. Grazie alla diversificata provenienza dei partecipanti, che spazia tra una vasta gamma di settori, le interazioni tra di essi agevolano un costante scambio di idee e conoscenze. Questo dialogo continuo è orientato alla condivisione di *best practices* e all'identificazione di opportunità per migliorare le metodologie operative esistenti nel contesto della sostenibilità e dell'economia bio-circolare. Tale sinergia tra i membri dell'RSB è fondamentale per sviluppare soluzioni innovative e sostenibili che possano affrontare le sfide ambientali e sociali attuali e future.

L'area relativa allo sviluppo dei Programmi consente all'RSB, attraverso le continue interazioni tra i suoi partecipanti, di valutare ed implementare *“politiche, progetti e operazioni nel settore dei biomateriali”*. In questo contesto, attraverso l'istituzione di un reparto dedicato, l'RSB è in grado di fornire consulenze *tecniche e strategiche* ai diversi attori e membri al fine di supportarli nel perseguimento dei propri obiettivi specifici. In tal modo, fornendo assistenza individuale agli operatori da questa prospettiva, l'organizzazione contribuisce significativamente al raggiungimento degli obiettivi globali in materia di sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

Infine, l'RSB è in grado di emettere certificazioni che attestano la conformità dei prodotti e delle materie prime ai *“12 Principi e Criteri”*. Tali certificazioni godono di riconoscimento a livello globale.

3.2.2 I “12 Principi e Criteri” di RSB

Come precedentemente delineato, il framework di sostenibilità sviluppato dal RSB si erige su un fondamento di principi chiave, i quali delineano le migliori pratiche nell'ambito sociale, legale, ambientale e manageriale, finalizzate a garantire elevati standard di sostenibilità nell'economia biocircolare. RSB specifica che *“ogni principio è supportato da criteri, requisiti e indicatori”*. Questi criteri rivestono un ruolo essenziale nel determinare chi, tra gli operatori, debba conformarsi ai principi, e in quali modalità, fornendo un quadro normativo di portata globale. Inoltre, i criteri fungono da strumenti di valutazione, con lo scopo di monitorare nel tempo i progressi compiuti dagli operatori nell'ottica del raggiungimento gli obiettivi di sostenibilità. Parallelamente, requisiti e indicatori forniscono un sostegno pratico agli operatori, guidandoli attraverso il processo di attuazione di ciascun principio.

I Principi e Criteri sono applicabili a due tipologie di operatori: produttori di biomassa (*“Agricoltori e gestori di piantagioni o foreste”*[128]) e operatori industriali (*“Processori di materie prime, produttori intermedi, produttori di biocarburanti o biomateriali”*[128])

La categorizzazione dei 12 Principi e Criteri, come definita nel documento *RSB Principles & Criteria (RSB-STD-01-001)* [128], si articola in quattro aree tematiche:

1. Best-practices legali e basate sui diritti (Principi 1, 12)
2. Best-practices manageriali (Principi 2, 11)
3. Best practices sociali (Principi 4, 5, 6)
4. Best practices ambientali (Principi 3, 7, 8, 9, 10)

Un'illustrazione grafica di questa suddivisione è presentata nella Figura 31 del documento. Utilizzando differenti colorazioni per rappresentare ciascuna macroarea, si facilita la comprensione e la visualizzazione delle relazioni tra i diversi principi e criteri.



Figura 31 – Principi e Criteri RSB

Fonte: RSB

Sostanzialmente, come verrà esaminato in dettaglio in seguito, al fine di ottenere le certificazioni necessarie, sia i produttori agricoli che gli operatori industriali dovranno dimostrare la loro piena conformità al framework nel suo complesso, integrando efficacemente i principi e i criteri delineati dal RSB.

3.2.3 Schemi di certificazione RSB

La certificazione è diventata essenziale per soddisfare la crescente richiesta di tracciabilità e trasparenza nel mercato, che esige un alto livello di fiducia riguardo al percorso dei prodotti sostenibili. In risposta a questa esigenza, RSB ha sviluppato un sistema di certificazione ampiamente riconosciuto a livello globale.

Al fine di consolidare ulteriormente la propria reputazione nel settore delle certificazioni di biocarburanti e biomateriali, RSB è diventata partner di *ISEAL Alliance*. Quest'ultima è un'organizzazione globale che si propone di “supportare ambiziosi sistemi di sostenibilità e i loro partner per fronteggiare le sfide del momento” [129]. L'*ISEAL* detiene un notevole potere nel promuovere il cambiamento sostenibile e nell'assicurare la credibilità dei suoi membri. Ciò è

principalmente dovuto alla sua vasta rete di partner e collaboratori, attivi a livello mondiale e che operano in una varietà di settori industriali, dalla pesca alla silvicoltura, fino ai biomateriali e all'industria estrattiva.

In aggiunta, RSB è l'unico schema a permettere il sistema di "Book and Claim", menzionato in precedenza. Come riporta l'organizzazione stessa, *"il modello "Book and Claim" è un modello di chain-of-custody, in cui il flusso di documentazione amministrativa non necessariamente si collega al flusso fisico del materiale o prodotto lungo la catena di approvvigionamento"* (Fonte: ISO 22095:2020). *Consente a un cliente di separare attributi specifici dal prodotto fisico - come i suoi benefici in termini di sostenibilità - e trasferirli separatamente tramite un registro dedicato. Questo approccio, che è stato implementato con successo nel settore dell'elettricità rinnovabile, è particolarmente prezioso per settori come l'aviazione e il trasporto marittimo che richiedono modelli di catena di custodia versatili per collegare l'approvvigionamento con la crescente domanda globale."*[130]

Riguardo al monitoraggio e alla verifica di conformità degli operatori al framework sulla sostenibilità – e quindi ai 12 Principi e Criteri – RSB ha sviluppato diversi schemi di certificazione. Ognuno di essi ha la capacità di adattarsi a specifici contesti e a diverse tipologie di feedstock, di operatori e di catene di fornitura.

Come illustrato nella Figura 32, i principali schemi di certificazione di RSB sono cinque:

1. RSB Global Fuels Certification
2. RSB Global Advanced Products Certification
3. RSB EU RED Fuel Certification
4. RSB CORSIA Certification
5. RSB Japan FIT (Biomass) Certification



Figura 32 – RSB, principali schemi di certificazione

Fonte: RSB

3.2.3.1 RSB Global Fuels Certification

Lo schema sviluppato da RSB mira a garantire che *“la produzione di carburante possa dimostrare reali riduzioni delle emissioni di gas serra, senza contribuire a problemi come deforestazione, fame globale e degrado ecologico”*²³. Tale schema impiega una serie di misure e procedure finalizzate a promuovere pratiche corrette nella produzione e nel commercio di carburanti avanzati e derivanti dalla biomassa. Come indicato da RSB, lo schema permette la certificazione di carburanti prodotti a partire da:

- Biomassa di prima generazione
- Biomassa derivante da prodotti giunti a fine vita e residui di produzione
- Prodotti giunti a fine vita di origine fossile
- Carburanti liquidi e gassosi rinnovabili di origine non biologica
- Co-processing di biomassa con combustibili fossili.

3.2.3.2 RSB Global Advanced Products Certification

In questo caso lo schema si estende a tutti quei prodotti a una vasta gamma di prodotti al di fuori del settore energetico. I prodotti coinvolti sono plastica, tessuti, prodotti farmaceutici, imballaggi, stoviglie, cosmetici, integratori alimentari, cibo, mangimi, pasta, carta e molti altri, provenienti da:

- Materie prime di origine biologica
- Carbonio riciclato
- Sistemi di produzione che processano materie prime di origine biologica, o prodotti a fine vita non biologici, o residui di produzione in combinazione con materie prime fossili vergini

Le certificazioni rilasciate da questo schema permettono alle catene di fornitura di tali prodotti di dimostrare un impatto positivo sulla *“produzione sostenibile, della mitigazione del cambiamento climatico e dalla riduzione dell’uso delle risorse fossili”*²⁴.

3.2.3.3 RSB EU RED Fuel Certification

Il sistema di certificazione RSB EU RED è stato concepito con l'obiettivo di garantire la conformità degli operatori agli standard stabiliti dall'Unione Europea in materia di carburanti. Questo sistema include linee guida dettagliate riguardanti le pratiche di produzione, la commercializzazione e l'utilizzo dei biocombustibili, conformi ai requisiti comunitari sanciti dalla Direttiva RED. Tuttavia, al momento, la certificazione RSB EU RED si trova in una fase di valutazione e riconoscimento da parte dell'Unione Europea al fine di adeguarsi alla Direttiva RED II. Una volta ottenuto il riconoscimento da parte dell'UE, lo schema sarà in grado di certificare combustibili provenienti da:

- Biomassa di prima generazione
- Biomassa derivante da prodotti giunti a fine vita e i residui di produzione²⁵

²³Fonte: RSB, RSB Global Fuels Certification.

<https://rsb.org/certification/certification-schemes/rsb-global-fuels-certification/>

²⁴Fonte: RSB, RSB Global Advanced Products Certification

<https://rsb.org/certification/certification-schemes/rsb-global-advanced-products-certification/>

²⁵Fonte: RSB, RSB EU RED Fuel Certification

<https://rsb.org/certification/certification-schemes/rsb-eu-red-fuel-certification/>

3.2.3.4 RSB CORSIA Certification

La Certificazione RSB CORSIA è stata formalmente riconosciuta dal programma CORSIA nel dicembre del 2020. Questo riconoscimento consente al RSB di attestare che i feedstock e i carburanti derivati da essi soddisfino i requisiti necessari per essere inclusi nel programma CORSIA come combustibili idonei (Eligible Fuel).

Gli ambiti di applicazione della Certificazione RSB CORSIA includono:

- Biomassa di prima generazione
- Biomassa derivante da prodotti giunti a fine vita e residui di produzione
- Rifiuti solidi urbani²⁶

3.2.3.5 RSB Japan FIT (Biomass) Certification

Il Sistema è stato sviluppato da RSB *“per consentire ai produttori e ai commercianti di biomassa di dimostrare la conformità ai requisiti di sostenibilità di RSB e per sbloccare l'accesso al sistema di Feed-in-Tariff (FIT) del Giappone”*. Il sistema FIT, infatti, consente l'accesso ad una serie di sussidi e incentivi destinati ai produttori, ai fornitori e agli importatori di biomassa. Dal punto di vista del Giappone, questo programma stimola un flusso continuo di biomassa destinata alla produzione di energia. Attualmente, la Certificazione RSB Japan FIT ammette due categorie di feedstock, ovvero:

- Gusci di noce di palma
- Fusti di palma²⁷

²⁶Fonte: RSB, RSB CORSIA Certification

<https://rsb.org/certification/certification-schemes/rsb-corsia-certification/>

²⁷Fonte: RSB, RSB Japan FIT (Biomass) Certification

<https://rsb.org/certification/certification-schemes/rsb-japan-fit-biomass-certification/>

3.3 2BSvs

Il *Biomass Biofuels Voluntary Scheme (2BSvs)* rappresenta uno schema volontario di certificazione senza scopo di lucro concepito per agevolare gli operatori nell'adempiere ai criteri di sostenibilità stabiliti dall'Unione Europea. La Commissione Europea, infatti, ha fornito un riconoscimento ufficiale a 2BSvs nel 2022 [142]. Fondato su un quadro normativo europeo, il 2BSvs impone agli operatori lungo l'intera catena di approvvigionamento il rispetto dei parametri e delle normative delineate dalla *Direttiva 2018/2001*, ovvero la *Direttiva RED II*.

L'associazione, in aggiunta, si avvale del contributo di una serie di enti certificatori indipendenti, quali ad esempio *Rina Services SPA*[153] per l'Italia e *Bureau Veritas Certification*[151][152] per la Francia. Questi enti svolgono un ruolo cruciale nell'assistere direttamente gli operatori attraverso attività di audit e consulenza. Tale supporto è essenziale per guidare gli operatori lungo l'intero processo che conduce al conseguimento della certificazione.

La 2BSvs è applicabile a tutti i feedstock appartenenti al settore dell'energia, con particolare riferimento a biocarburanti, bioliquidi e combustibili derivanti da biomassa (ex-biometano). Lo schema possiede una valenza internazionale e copre tutti gli stadi di lavorazione del prodotto, sino alla sua commercializzazione.

Parallelamente, 2BSvs offre un'ulteriore certificazione volontaria, denominata *2BSXtra*, la quale copre i feedstock appartenenti alla filiera alimentare e dei mangimi, e all'industria chimica. Una distinzione fondamentale tra le due certificazioni risiede nel fatto che, mentre lo schema 2BSvs è ufficialmente riconosciuto dall'UE, il 2BSXtra non è soggetto a regolamentazioni.

Nonostante ciò, i principi alla base della certificazione 2BSXtra sono ancorati al sistema 2BSvs. Questo significa che gli operatori che trattano materie prime agricole destinate all'alimentazione umana o animale, biomassa utilizzata in processi industriali, prodotti chimici riciclati e plastica biologica possono dimostrare la tracciabilità dei loro prodotti e il rispetto dei requisiti di sostenibilità.

Per chiarire meglio le differenze esistenti tra i due schemi di certificazione in oggetto, l'organizzazione stabilisce che “*nel caso in cui le materie prime possano essere destinate sia alla produzione di carburante che alla catena alimentare, la certificazione appropriata è la 2BSvs. Tuttavia, se le materie prime sono esclusivamente destinate all'industria alimentare, è richiesta la certificazione 2BSXtra*” [148].

In definitiva, oltre a contribuire alla riduzione delle emissioni di carbonio, tali certificazioni hanno un impatto importante sul miglioramento della reputazione delle singole aziende e degli operatori lungo l'intera filiera.

CAPITOLO QUARTO

ANALISI DEI PRINCIPALI FEEDSTOCK

Il presente capitolo si propone di analizzare i principali feedstock impiegati nella produzione di Sustainable Aviation Fuel (SAF) tramite il processo di produzione HEFA. Come delineato nel capitolo introduttivo, la selezione delle materie prime influenza significativamente il processo produttivo e i risultati ottenuti. Pertanto, in questo contesto, quattro fonti principali di feedstock emergono come oggetto di studio: gli Oli da Cucina Esausti (Used Cooking Oil - UCO), il Palm Oil Mill Effluent (POME), e i grassi animali.

Ciascun feedstock, prima di essere esaminato nel dettaglio, sarà introdotto con una panoramica generale. Successivamente, si procederà a un'analisi della provenienza geografica, delle applicazioni e delle caratteristiche di sostenibilità associate a ciascuna materia prima. Quest'ultima è fondamentale per valutare l'idoneità dei feedstock per la produzione di SAF e il loro impatto sull'ambiente e sulle comunità coinvolte nella loro produzione.

Infine, verrà effettuata un'analisi del mercato di ciascun feedstock, che includerà lo studio delle dimensioni e del valore economico del mercato, nonché dei flussi di import/export. Questo approfondimento mira a consentire l'acquisizione di una comprensione dettagliata delle dinamiche commerciali che influenzano l'utilizzo di tali feedstock nell'industria dell'aviazione sostenibile.

4.1 USED COOKING OIL (UCO)

4.1.1 Descrizione

Gli Used Cooking Oils (UCO), o oli da cucina usati, *“sono oli che sono stati utilizzati per cucinare o friggere alimenti destinati al consumo umano [154].* L'UCO viene solitamente generato in ristoranti, mense o attività simili in cui gli alimenti vengono cotti o lavorati. Essi rappresentano una fonte importante di feedstock per la produzione di biocarburanti, inclusi quelli destinati all'aviazione sostenibile, ma possono essere utilizzati anche *“per produrre materie prime per polimeri e sostanze chimiche, per poi essere trasformate, ad esempio, in plastica bio-based più sostenibile” [154].* Dopo l'utilizzo in ambienti domestici, commerciali o industriali, gli UCO diventano rifiuti organici che richiedono un'appropriata gestione per evitare impatti negativi sull'ambiente. Essi sono spesso caratterizzati da una varietà di residui organici e composti che si accumulano durante il processo di cottura o frittura degli alimenti.

4.1.2 Provenienza

Secondo un'analisi condotta da S&P Global nel marzo 2024, la Cina emerge come il principale produttore²⁸ ed esportatore mondiale di olio da cucina esausto (UCO), registrando un volume di esportazioni pari a 1.713.220 tonnellate metriche (mt). Gli Stati Uniti, a loro volta, si delineano come

²⁸ Secondo una stima da parte di Repsol Global, riportata da S&P Global, la Cina raccoglie annualmente tra 3,1 milioni e 4,1 milioni di tonnellate di UCO [156].

il principale mercato di destinazione dell'UCO cinese, con un totale di importazioni pari a 832.840 mt, come illustrato dalla Figura 33.

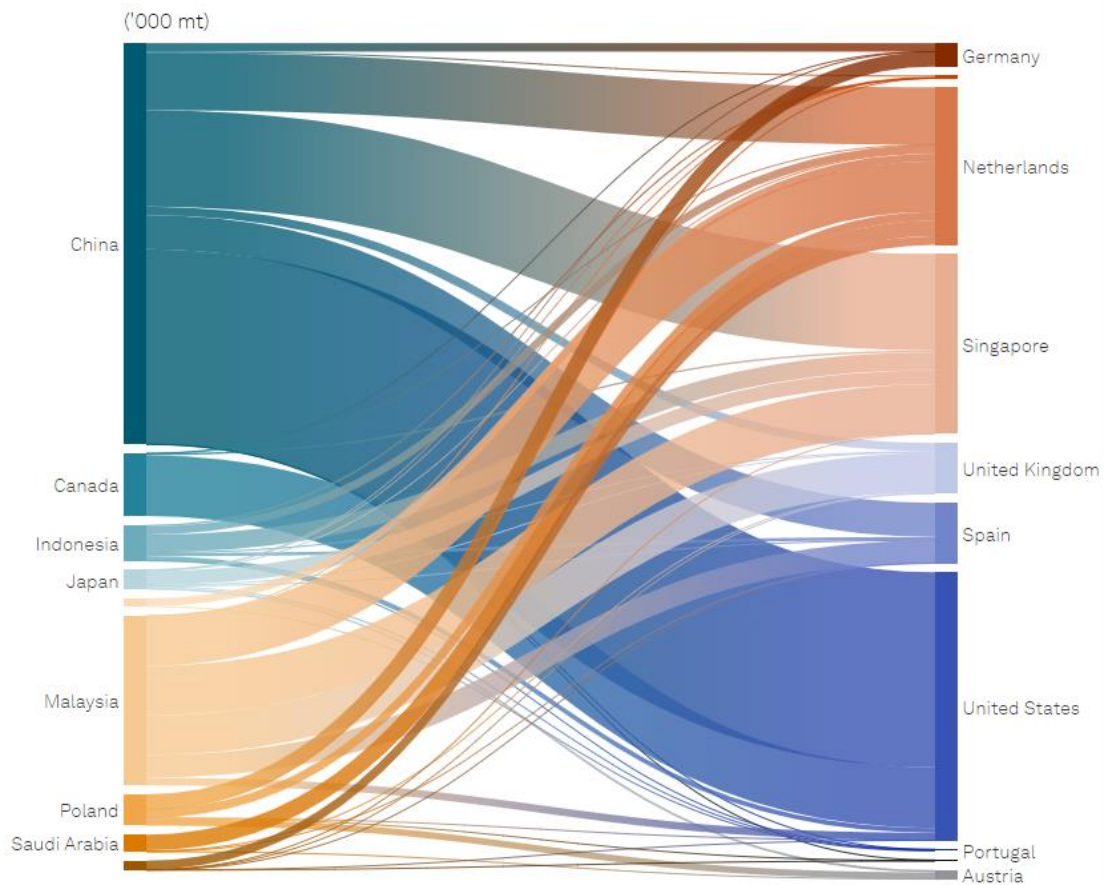


Figura 33 – UCO, flusso commerciale globale nel 2023

Fonte: S&P Global Commodity Insights

Nel 2022, la Cina non deteneva alcuna quota di mercato nelle importazioni di UCO negli Stati Uniti; tuttavia, attualmente essa rappresenta il 60% del totale delle importazioni statunitensi di UCO, corrispondente a circa 1.410.000 mt.

Questa significativa trasformazione è prevalentemente riconducibile all'approvazione, da parte degli USA, del programma Inflation Reduction Act (IRA) del 2022, il quale mira “assicurare la posizione degli Stati Uniti come leader mondiale nella produzione nazionale di energia pulita” [157].

L’emanazione dell’IRA ha conferito agli Stati Uniti un netto vantaggio rispetto all’Unione Europea come principale destinazione dell’UCO cinese, poiché il governo statunitense ha stanziato una serie di finanziamenti volti a sostenere iniziative sostenibili, contribuendo ad un aumento delle importazioni di UCO negli Stati Uniti del 3,5 volte nel 2023 rispetto agli esercizi precedenti.

Dopo la Cina, la Malesia e il Canada emergono come il secondo e il terzo maggior esportatore mondiale di olio da cucina esausto (UCO), registrando rispettivamente volumi di esportazioni pari a 724.000 mt e 267.740 mt.

In merito agli Stati maggiormente impegnati nelle importazioni di UCO, gli Stati Uniti occupano il primo posto, seguiti da Singapore - con un volume di importazioni pari a 768.960 mt - e dall'Olanda - 673.110 mt.

Secondo quanto riportato da Transport & Environment, a livello europeo *“il consumo di UCO” è più che raddoppiato tra il 2015 e il 2022*”. Tuttavia, le limitate capacità di raccolta e trattamento degli oli esausti da cucina all'interno del continente europeo hanno portato i Paesi membri a dipendere in maniera significativa dalle importazioni per soddisfare le proprie necessità. Di conseguenza, secondo T&E *“questa tendenza è destinata a crescere, poiché le compagnie aeree spingono per un maggiore utilizzo di olio da cucina usato come feedstock chiave per la produzione di SAF”* [158].

4.1.3 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità

Le caratteristiche di sostenibilità degli UCO si basano sulla loro natura di rifiuto organico riciclabile. Il trattamento degli UCO offre diversi vantaggi ambientali, tra cui la riduzione dei rifiuti destinati alla discarica, il risparmio di risorse naturali e la diminuzione delle emissioni di gas serra.

Uno dei principali benefici derivanti dal trattamento degli UCO è la loro trasformazione in carburante, rappresentando un'alternativa più sostenibile ai combustibili fossili tradizionali e contribuendo a ridurre le emissioni di gas serra.

Tuttavia, i benefici derivanti dal trattamento degli UCO non si limitano alla sola produzione di carburante, ma il loro utilizzo come risorsa alternativa contribuisce a *“mitigare i rischi ambientali associati ad uno smaltimento errato, riducendo l'inquinamento e promuovendo un'economia circolare”* [159].

Come evidenziato da Neste, se non impiegati per la produzione di carburante, o per la produzione di *“materia prima per polimeri e prodotti chimici - che possono poi essere trasformati, ad esempio, in plastica più sostenibile a base biologica”* [154] – gli UCO *“verrebbero semplicemente gettati o versati nel sistema fognario”* [154], causando potenziali problemi ambientali.

Inoltre, la raccolta di UCO già utilizzati, escludendo la possibilità del loro riutilizzo, comporta vantaggi anche in termini di sicurezza alimentare. L'olio da cucina, infatti, *“può essere utilizzato solo un certo numero di volte prima di diventare inadatto al consumo umano per motivi di igiene alimentare”* [154].

Un'ulteriore caratteristica degli UCO è quella di essere riconosciuti dalla Direttiva RED come *feedstock double counting*. Questo significa che, ad esempio, *“se il consumo di UCO è del 2%, esso verrà conteggiato come il 4% del totale dell'energia utilizzata nel settore dei trasporti”* [160]. Questo approccio mira a incentivare l'utilizzo di UCO per la produzione di biocarburanti, agevolando i produttori nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità energetica.

Pertanto, l'UCO è classificato come *“advanced feedstock”*, ovvero come una di quelle materie prime che *“non competono direttamente con l'uso del suolo per le colture alimentari e hanno tipicamente una bassa intensità di carbonio”* [161]. In altre parole, sono risorse che possono essere utilizzate per produrre energia o carburanti senza compromettere la produzione di cibo e con un impatto ambientale ridotto.

4.1.4 Market overview

Secondo il report “*Global Used Cooking Oil Market Size, Share, and COVID-19 Impact Analysis, By Source (Food Services and Households), By Applications (Industrial Usage, Animal Feed, and Others), and By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, Latin America, Middle East, and Africa), Analysis and Forecast 2022 – 2032*” [162], nel 2022 il mercato globale dell’UCO ha raggiunto una valutazione di 6.2 miliardi di dollari.

Il mercato UCO comprende tutto ciò che riguarda la raccolta, la lavorazione e la distribuzione di olii da cucina esausti provenienti da case, ristoranti ed industrie di trasformazione alimentare. Secondo le stime riportate all’interno del report, il mercato UCO raggiungerà una valutazione di 11,6 miliardi di dollari nel 2032, con un tasso di crescita annuo composto (Compound annual growth rate – CAGR²⁹) del 6,4% nel periodo compreso tra il 2022 e il 2032.

Questa crescita è attribuibile a diversi fattori, tra cui la crescente richiesta di fonti energetiche sostenibili ed ecologiche, che contribuisce direttamente all’aumento della domanda di biocarburante.

Come delineato nei capitoli precedenti, le varie normative adottate dai governi in tutto il mondo per raggiungere obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra e di aumento dell’uso di energie rinnovabili stanno stimolando la produzione e l’impiego di carburanti sostenibili.

Poiché l’UCO rappresenta uno dei principali feedstock utilizzati per la produzione di carburanti sostenibili, l’aumento della domanda globale di biocarburante sta generando una maggiore richiesta di UCO necessario per la sua produzione.

In concomitanza con l’incremento della richiesta di UCO destinato alla produzione di carburante, gli oli esausti trovano impiego anche come componente nei mangimi animali [162]. L’aumento della domanda di questi ultimi, in special modo nei Paesi in via di sviluppo, comporta un’ulteriore aumento nella richiesta di UCO.

Tuttavia, esistono diversi fattori che potrebbero potenzialmente rallentare la crescita del mercato degli UCO. Come segnalato dall’analisi condotta da Spherical Insights, “*la raccolta dell’olio da cucina esausto richiede un’infrastruttura robusta che includa centri di raccolta, trasporti e strutture di stoccaggio*” [162]. Non in tutti i Paesi esistono infrastrutture in grado di garantire una filiera completamente efficiente, dall’acquisizione dei rifiuti fino al processo di trasformazione.

Inoltre, la diversità delle fonti e dei trattamenti subiti dalle materie prime può generare “*preoccupazioni sulla qualità della materia prima utilizzata nella produzione di biocarburanti e altri prodotti, limitando così la crescita del mercato*”.

Per ultimo, i rapidi sviluppi tecnologici all’interno del settore dei biocarburanti, ne stanno aumentando ampiamente la competitività. Come analizzato nel presente studio, non esiste solo una materia prima da cui è possibile ottenere carburanti alternativi a quelli fossili. Una situazione di questo tipo “*può limitare la crescita del mercato dell’olio da cucina esausto, poiché deve confrontarsi con la concorrenza di altri biocarburanti*”.

Sul fronte dell’espansione dei mercati, pur riconoscendo il ruolo predominante della Cina come principale produttore globale di UCO, è importante evidenziare che diversi paesi asiatici, come la Cambogia [156], si presentano come potenziali candidati per emergere nel settore della produzione

²⁹ “Il tasso annuo di crescita composto, più comunemente noto come CAGR dall’acronimo anglosassone *Compounded Average Growth Rate*, rappresenta la crescita percentuale media di una grandezza in un lasso di tempo”. [164]

di UCO. Questi Stati potrebbero trarre vantaggio dalla crescente domanda del feedstock, specialmente da parte di Europa e Stati Uniti.

Tuttavia, secondo quanto riportato da S&P Global, *“la mancanza di supporto politico e la realizzazione della raccolta e delle esportazioni su larga scala sarebbero i principali ostacoli”* all'apertura di un nuovo e significativo mercato internazionale per l'esportazione di UCO.

Inoltre, la commercializzazione dell'UCO in Europa è soggetta a significativi rischi di frode. Un esempio è rintracciabile nella pratica della falsa etichettatura di oli vergini come oli "usati", finalizzata all'ottenimento di vantaggi economici e normativi. Poiché i biocarburanti derivati dall'UCO beneficiano di incentivi finanziari e di prezzi di mercato elevati, i produttori di olio sono incentivati a etichettare il loro prodotto vergine come esausto per massimizzare i profitti. Di conseguenza, indagini ufficiali sono state avviate da Germania e Irlanda, mentre la Commissione Europea ha assunto l'impegno di condurre un'analisi approfondita sulle potenziali attività fraudolente correlate a questa problematica [163].

4.2 PALM OIL MILL EFFLUENT (POME)

4.2.1 Descrizione

Come riportato dal documento *“Iscc Guidance Waste And Residues From Palm Oil Mills”* [166], il Palm Oil Mill Effluent (POME) è definito come il *“refluo inevitabile che deriva dalla produzione di olio di palma”*. Il POME è composto approssimativamente per il 95-96% di acqua, per lo 0,6-0,7% di olio e per il 2-4% di materia solida [167], e il suo volume e la sua composizione dipendono direttamente dal cosiddetto *Fresh Fruit Bunch (FFB)*³⁰, dalla configurazione e dalle condizioni di lavorazione ed efficienza della fabbrica.

È importante distinguere tra POME e Olio di POME: il primo indica il *“refluo proveniente dal mulino per l'olio di palma”*, mentre il secondo si riferisce all' *“olio recuperato dal refluo proveniente dal mulino per l'olio di palma”*.

Questa distinzione è essenziale poiché, nel contesto dell'ottenimento della certificazione ISCC, *“qualsiasi olio che non sia recuperato dal reflu di un mulino per l'olio di palma non può essere etichettato come Olio di POME”*. Di conseguenza, qualsiasi atto di etichettatura o vendita di altre varianti di oli sotto la denominazione di "olio di POME" costituisce una trasgressione delle normative imposte dall'ISCC.

Dal punto di vista ambientale, i POME, essendo degli scarti derivanti dalla lavorazione dell'olio di palma, rappresentano una sfida rilevante. Infatti, come segnalato dall'articolo *“Palm Oil Mill Effluent Treatment Process – A Review”*, *“lo scarico diretto dei POME sulla terra porta a intasamenti, all'accumulo di acqua nel terreno e alla morte della vegetazione a contatto”*, mentre *“lo scarico del liquame nei corsi d'acqua causa la deplezione dell'acqua, provocando inquinamento dell'ambiente acquatico”*.

³⁰ *“È la materia prima per i mulini dell'olio di palma. L'albero di palma da olio (Elaeis guineensis) è originaria dell'Africa occidentale ed è stato sviluppato come coltura agricola in Malesia. Il frutto dell'albero viene lavorato e ha due prodotti principali: l'olio di palma grezzo e il nocciolo di palma.[168]”*

Tuttavia, come riportato dall'articolo "A Recent Overview of Palm Oil Mill Effluent Management via Bioreactor Configurations" [169], "i recenti avanzamenti tecnologici hanno trasformato il POME da rifiuto dannoso a materia prima sostenibile, che può essere utilizzata per produrre preziosi sottoprodotti come il bio-idrogeno e il biometano".

4.2.2 Provenienza

La produzione di olio di palma, un'attività predominante nei paesi con clima equatoriale, è largamente concentrata in Indonesia e Malesia, come evidenziato dai dati forniti dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) [170]. Le statistiche attestano chiaramente che i due Paesi detengono una posizione dominante nella produzione mondiale di olio di palma. Nel dettaglio, come illustrato nella Figura 34, l'Indonesia si distingue come il principale produttore, con una produzione di 47.000.000 mt di olio di palma nel 2023, corrispondente al 59% della produzione globale. Segue la Malesia, che nel medesimo anno ha prodotto 19.000.000 mt, rappresentando il 25% della produzione complessiva.

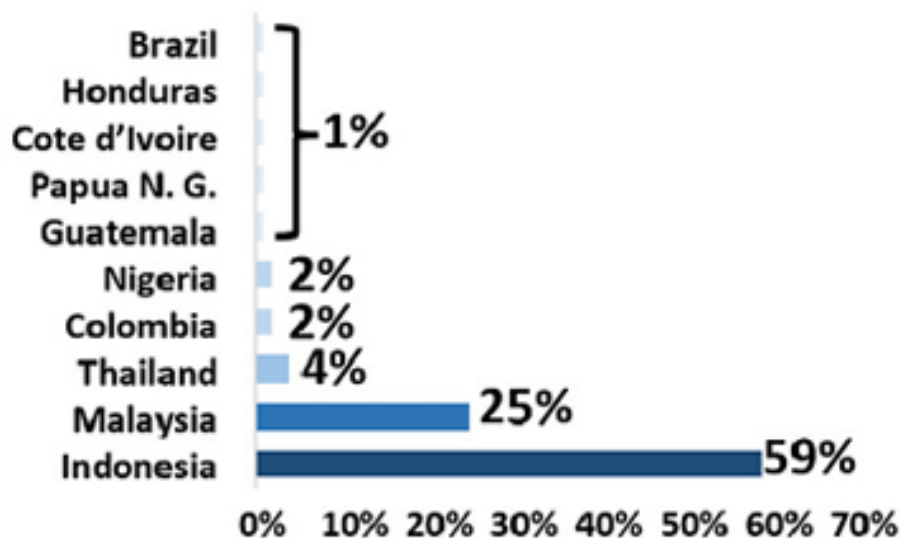


Figura 34 - Produzione Mondiale di Olio di Palma

Fonte: "Sustainable bioenergy from palm oil mill effluent: Advancements in upstream and downstream engineering with techno-economic and environmental assessment"

Le Figure 35 e 36 presentano le mappe delle principali aree di produzione di olio di palma nelle province dell'Indonesia e della Malesia. Queste forniscono un'analisi dettagliata delle principali aree di produzione e della distribuzione percentuale della produzione provinciale rispetto a quella nazionale, oltre a indicare l'ubicazione geografica dei mulini di lavorazione dell'olio di palma.

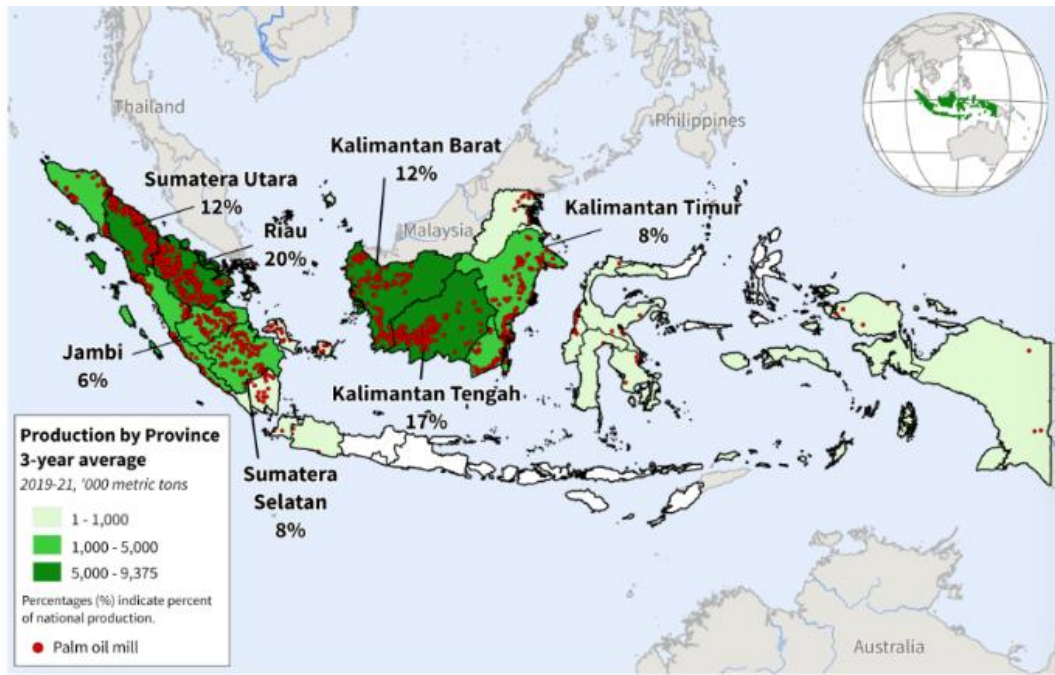


Figura 35 - Produzione di olio di palma in Indonesia

Fonte: Badan Pusat Statistik Indonesia, Production of Plantain Crops, 2021

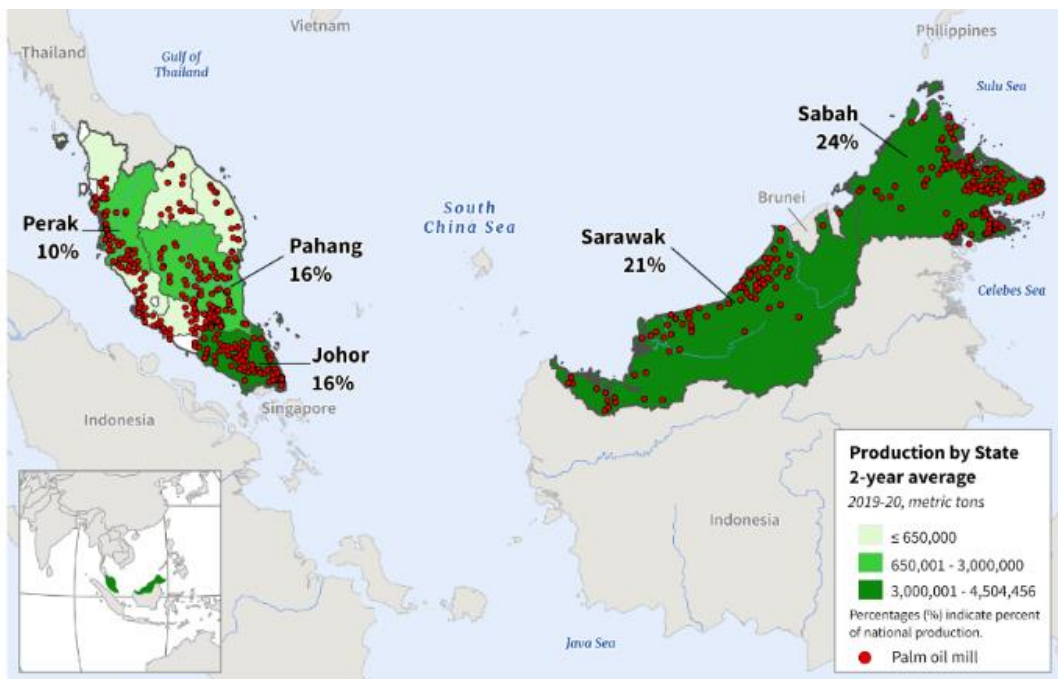


Figura 36 - Malesia: produzione di olio di palma

Fonte: Malaysian Palm Oil Board Statistics, Global Forest Watch Palm Oil Mills

Altre nazioni produttrici includono la Thailandia (3,45 milioni di mt, pari al 4% della produzione mondiale), la Colombia (1,9 milioni di mt, 2% del totale mondiale) e la Nigeria (1,5 milioni di mt, anch'essa il 2% del totale mondiale) [170].

4.2.3 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità

La gestione del Palm Oil Mill Effluent assume un ruolo cruciale nell'ambito della sostenibilità, data la significativa contaminazione derivante dai processi di lavorazione dell'olio di palma, che può superare di 100 volte quella generata dalle acque reflue urbane [171]. È quindi imperativo trovare soluzioni per la raccolta e il riutilizzo di questi sottoprodotti.

Il trattamento e la lavorazione del POME offrono diversi vantaggi sia dal punto di vista ambientale che economico, consentendo la sua *“riclassificazione da materiale di scarto a sottoprodotto o risorsa utile”* [172].

In primo luogo, recuperare il POME dagli impianti di lavorazione evita il suo scarico in corsi d'acqua o nel terreno, riducendo così l'inquinamento delle risorse idriche e del suolo. L'abbandono di tale sottoprodotto nei corsi d'acqua o nel suolo è associato a un significativo impatto ambientale negativo, come evidenziato all'inizio di questa sezione.

Successivamente, l'implementazione di tecnologie all'interno degli impianti di lavorazione, come il sistema di raccolta in laghetti e l'uso di centrifughe (ISCC) [166], consente di sfruttare il POME per diversi scopi successivi alla raccolta.

Secondo l'articolo *“Oil Palm Tree Wastes 8: The uses of the palm oil mill effluent”*, *“le elevate concentrazioni di carboidrati, proteine, composti azotati, lipidi e minerali nel POME lo rendono specificamente una buona materia prima per la bioconversione attraverso numerosi processi biotecnologici”*.

Una delle applicazioni chiave di questo sottoprodotto è la produzione di biocarburante, realizzata tramite processi di digestione aerobica e anaerobica [172]. In questo contesto, il POME assume un ruolo cruciale nella produzione di Sustainable Aviation Fuel (SAF). Insieme ad altri feedstock, quali l'Used Cooking Oil (UCO), esso rappresenta una delle principali materie prime per la produzione di carburante sostenibile per l'aviazione. Pertanto, Malesia e Indonesia, in quanto principali produttori di POME a livello globale, ricoprono un'importanza fondamentale in termini di fornitura di questo feedstock a tutti i produttori di biocarburante.

Il POME, inoltre, è ricco di nutrienti vegetali, come azoto, fosforo, potassio, calcio e magnesio [172]. Tuttavia, l'applicazione diretta di questa materia prima non trattata come fertilizzante può arrecare danni al suolo. Di conseguenza, al fine di sfruttare appieno la ricchezza di nutrienti del POME, sono state elaborate tecniche di trattamento per renderlo idoneo come concime per il terreno. In aggiunta, va sottolineato che il POME trova impiego anche come componente nutrizionale nell'alimentazione animale all'interno delle fattorie. Questa ulteriore destinazione offre un contributo significativo non solo alla mitigazione degli sprechi, ma anche alla valorizzazione dei sottoprodotti derivanti dal processo di produzione dell'olio di palma.

Nel contesto della Direttiva RED, il POME presenta un ruolo controverso. Gli scarti della lavorazioni dell'olio di palma possono essere considerati *double counting* per il raggiungimento degli obiettivi in tema di energia rinnovabile, incentivando così il loro utilizzo per la produzione di biocarburanti avanzati. Tuttavia, per essere considerato un "advanced feedstock", il POME deve soddisfare criteri rigorosi di sostenibilità e tracciabilità, assicurando che il suo utilizzo non contribuisca alla deforestazione o ad altre pratiche non sostenibili. Attualmente, il POME è classificato come feedstock avanzato nell'allegato IX della RED II, il che ne facilita l'inclusione nelle quote di biocarburanti avanzati e promuove il suo utilizzo in modo sostenibile [173].

4.2.4 Market overview

Come descritto nel Paragrafo 4.2.2, l'Indonesia e la Malesia hanno congiuntamente costituito circa l'84% del mercato globale della produzione di POME nel corso del 2023, con una produzione totale stimata di circa 80.000.000 di mt.

Inoltre, secondo un rapporto di S&P Global intitolato “Growing demand, tight supply drives Asia POME market higher” [174], diversi fattori stanno contribuendo in questi anni ad alimentare la crescita della domanda dei residui derivanti dalla lavorazione dell'olio di palma.

Il principale driver di questa tendenza è rappresentato dal ruolo che il POME riveste nel panorama della produzione di biocarburanti. Questo feedstock è ufficialmente riconosciuto dalle Direttive Europee (RED II), dagli accordi internazionali (CORISIA) e dai principali organismi di certificazione a livello globale (ISCC) come una materia prima idonea per la produzione di biocarburanti; pertanto, si prospetta una costante crescita del suo mercato. Tale prospettiva è alimentata dalle crescenti preoccupazioni per la sostenibilità ambientale e dalla ricerca di alternative ai combustibili fossili tradizionali.

Risulta dunque evidente che Malesia e Indonesia, in qualità di maggiori produttori di POME, esercitino una notevole influenza sul mercato, assumendo virtualmente una posizione di monopolio. Come evidenziato dal rapporto di S&P Global, le dinamiche dei prezzi di questo feedstock sono strettamente legate, e quasi esclusivamente, alla disponibilità di approvvigionamento offerta da questi due Paesi.

I dati relativi a gennaio 2024 mostrano come i prezzi del POME abbiano registrato un aumento significativo, dovuto principalmente alla riduzione dell'output produttivo sia in Malesia che in Indonesia. Tale diminuzione è attribuibile ai danni causati alla produzione da intensi monsoni, oltre alle difficoltà logistiche e di trasporto derivanti dalle forti inondazioni. Di conseguenza, il prezzo FOB³¹ del POME in Malesia e Indonesia è stato valutato a \$740/mt il 18 gennaio, rispetto ai \$705-\$710/mt della settimana precedente.

Per quanto riguarda i flussi di import/export, secondo quanto riportato da S&P Global [176] sono l'Italia, l'Olanda, la Spagna e il Belgio i Paesi che importano le maggiori quantità di POME da Malesia e Indonesia. Questi Paesi contribuiscono in maniera significativa allo sviluppo della domanda di tale feedstock.

Dal lato dell'export, invece, si sono registrati notevoli incrementi nel 2023 rispetto all'anno precedente, sia per l'Indonesia che per la Malesia. Secondo un'analisi del documento “Indonesia, Malaysia palm waste exports raises questions” [177], nei primi due mesi del 2023, le esportazioni di POME dall'Indonesia verso la Cina hanno registrato un aumento di oltre tre volte rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, passando da 225.000 mt nel 2022 a 730.000 mt nel 2023. Similmente, le esportazioni di POME dalla Malesia hanno registrato un aumento del 13% nei primi mesi del 2023, raggiungendo le 413.000 mt.

Un tale incremento delle esportazioni suscita legittime preoccupazioni in merito alla tracciabilità effettiva della materia prima. Ciò è dovuto all'apparentemente anomala crescita esponenziale dei

³¹ “FOB: acronimo di Free on board (in italiano, franco a bordo), è una clausola di resa della merce largamente usata nelle transazioni internazionali, in virtù della quale nel prezzo di vendita della merce sono comprese anche le spese sostenute dall'esportatore fino all'imbarco della stessa su un vettore, ma non i costi di trasporto fino al porto di destinazione che dunque sono a carico dell'importatore”. [175]

flussi di esportazione, considerando che *“l’offerta di questi scarti è limitata dalla produzione di olio di palma, che è rimasta relativamente stabile nello stesso periodo”* [177].

Questa problematica è strettamente legata alla mancanza di codici distinti per identificare singolarmente POME³², PAO³³ e PFAD³⁴, prodotti chimicamente simili, ma utilizzati e incentivati in modo diverso tra i vari Paesi.

Inoltre, l'aumento dei controlli da parte dell'ISCC evidenzia come questa mancanza di chiarezza e trasparenza possa favorire significative opportunità di truffa e frode da parte degli operatori del settore. Essi potrebbero essere indotti a dichiarare cifre poco plausibili riguardanti la produzione e la fornitura di prodotti associati alla lavorazione dell'olio di palma, compromettendo così l'integrità del sistema e la fiducia intrinseca del processo di certificazione.

All'utilizzo e alla commercializzazione di POME è collegata anche la problematica della deforestazione. In passato, alcuni produttori adottavano deliberatamente pratiche di estrazione dell'olio di palma che risultavano inefficienti, al fine di generare maggiori quantità di scarti, particolarmente redditizi e richiesti nel mercato dei biocarburanti. Tale scenario comportava un aumento degli input per l'ottenimento dell'olio di palma vergine, risultante in un incremento della quantità di palme da olio necessarie. Di conseguenza, tale necessità alimentava ulteriori attività di deforestazione per far spazio a nuove piantagioni di alberi destinati alla produzione di olio di palma.

Per risolvere questa situazione, spetta alle istituzioni governative e agli enti di certificazione l'incarico di attuare strategie efficaci volte a prevenire frodi e garantire la sostenibilità delle materie prime impiegate nella produzione di biocarburanti. In relazione alle tematiche connesse al riconoscimento del POME come feedstock avanzato, idoneo per il *double counting*, è imperativo che tali materie prime siano effettivamente residui di produzione e non prodotti ottenuti tramite pratiche non sostenibili. Questo implica l'adozione di un sistema di tracciabilità e controllo rigoroso al fine di verificare l'autenticità delle fonti utilizzate per la produzione dei biocarburanti.

4.3 GRASSI ANIMALI

4.3.1 Descrizione e classificazione

“I grassi e gli oli animali si riferiscono a sostanze idrofobiche, insolubili in acqua, derivate da fonti animali. Sono ottenuti da vari animali, inclusi il bestiame come bovini, pollame e suini, così come animali marini. I grassi e gli oli animali servono come una significativa fonte di energia e acidi grassi essenziali sia per gli esseri umani che per gli animali” [180]. Come evidenziato nel rapporto di Cerulogy intitolato *“The fat of the land. The impact of biofuel demand on the European market for rendered animal fats”* [181], ogni anno oltre 70 miliardi di animali vengono macellati globalmente. Le loro carcasse vengono sottoposte a lavorazione per estrarre la carne vendibile, mentre gli scarti sono trattati per produrre una serie di sottoprodotti, tra cui i grassi animali trasformati (rendered animal fat) [182].

³² *“Palm Oil Mill Effluent. La frazione di olio prodotta da acque reflue inevitabili prodotte in un mulino di palma”* [166]

³³ *“Palm Acid Oil. L'olio acido di palma (PAO) è un sottoprodotto ottenuto dalla raffinazione alcalina dell'olio di palma.”* [178]

³⁴ *“Palm Fatty Acid Distillate. Si tratta di un residuo di lavorazione che deriva dalla raffinazione fisica dei prodotti di olio di palma grezzo.”* [179]

Una parte di questi grassi è destinata al consumo umano, come ad esempio lo strutto, mentre il resto trova impiego in varie applicazioni, come “*la produzione di oleochimici, cibo per animali domestici, mangimi animali e per la combustione come combustibile per caldaie presso gli impianti di resa*” [183].

Tuttavia, recentemente, questi sottoprodotti hanno acquisito rilevanza crescente in qualità di materia prima per la produzione di biodiesel e carburanti sostenibili per l'aviazione (SAF).

In base al REGOLAMENTO (CE) n. 1069/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio, i Sottoprodotti di Origine Animale (SOA)³⁵ e i Prodotti Derivati³⁶ vengono suddivisi in tre categorie, allo scopo di gestire e mitigare i potenziali rischi per la salute pubblica e degli animali [183][185]:

- **Categoria 1:** comprende materiali a rischio più elevato, associati a specifiche minacce di trasmissione di malattie. Tra queste rientrano il rischio collegato a Encefalopatie Spongiformi Trasmissibili (TSE), materiali a rischio ignoto, presenza residui di sostanze proibite, contaminanti ambientali e i fanghi con rischio di Malattie a Sviluppo Rapido (MSR).
- **Categoria 2:** comprende materiali a rischio medio, non associati a rischi specifici di malattia ma inadatti al consumo umano. In questa categoria rientrano animali morti (diversi dai ruminanti), sottoprodotti non idonei al consumo umano, animali abbattuti nel quadro di eradicazione di malattie trasmissibili, materiali con residui di medicinali, letame e contenuto gastro intestinale, fanghi e residui.
- **Categoria 3:** è costituita da materiali a rischio minimo, destinati al consumo umano al momento della macellazione. La categoria comprende tutti i sottoprodotti provenienti da animali sani, sottoposti a controllo sanitario.

In merito al contributo dei grassi animali verso il conseguimento degli obiettivi sostenibili, specialmente nel settore dei trasporti, la Direttiva europea RED II introduce distinzioni significative tra le diverse Categorie. È importante notare che i grassi animali classificati nelle Categorie 1 e 2 – inadatti al consumo umano, alla produzione di oleochimici o all'utilizzo come mangimi per animali - vengono identificati come *advanced feedstocks* [187], e godono del privilegio del cosiddetto *double counting*. Tale meccanismo implica che per ogni gigajoule di energia prodotta da grassi animali di tali categorie, vengono emessi due certificati anziché uno. Questa disposizione agevola gli operatori nel raggiungimento degli obiettivi stabiliti dall'Unione Europea nell'ambito della RED [183].

Contrariamente, l'energia derivante da grassi animali appartenenti alla Categoria 3 non beneficia del *double counting*, quindi ad ogni gigajoule fornito corrisponde un solo certificato. Tale distinzione è motivata dalla considerazione che incentivare la produzione di biocarburanti mediante l'impiego di materiali della Categoria 3, prevalentemente destinati al consumo umano, potrebbe generare una problematica di sostituzione nel mercato. Questo scenario, infatti, potrebbe spingere altre industrie a cercare alternative ai grassi animali, comportando significativi impatti ambientali negativi.

È rilevante notare che uno dei principali sostituti al grasso animale in molteplici settori industriali è rappresentato dall'olio di palma. Qualora una significativa quota dei grassi animali, prevalentemente destinati al consumo umano (Categoria 3), fosse dirottata verso la produzione di carburante, le industrie sarebbero costrette ad intensificare la produzione di olio di palma. Come evidenziato nell'articolo di Matt McGrath, “Using pig fat as green jet fuel will hurt planet, experts warn” [186], l'incremento nell' “*utilizzo dell'olio di palma è collegato all'aumento delle emissioni, poiché foreste*

³⁵ “Sottoprodotti di Origine Animale: corpi interi o parti di animali, prodotti di origine animale o altri prodotti ottenuti da animali, non destinati al consumo umano, ivi compresi gli ovociti, gli embrioni e lo sperma.” [184]

³⁶ “Prodotti Derivati: prodotti ottenuti attraverso uno o più trattamenti, trasformazioni o fasi di lavorazione di sottoprodotti di origine animale.” [184]

più vecchie che immagazzinano enormi quantità di carbonio vengono abbattute per [far posto a] nuove piantagioni.”

4.3.2 Applicazioni e caratteristiche di sostenibilità

Esaminando la vasta gamma di applicazioni e caratteristiche dei grassi animali, emerge un legame con la classificazione dei Sottoprodotti di Origine Animale e Prodotti Derivati, delineata dalla Direttiva RED II.

I grassi animali appartenenti alle Categorie 1 e 2 presentano un ambito d'impiego significativamente più limitato rispetto a quelli della Categoria 3. I primi sono considerati inadatti al consumo umano e alla produzione di sostanze oleochimiche o mangimi per animali, a causa del loro elevato rischio di contaminazione [187]. Diversamente, i grassi animali appartenenti alla Categoria 3 costituiscono una componente fondamentale sia nella realizzazione di articoli come saponi, detergenti, cosmetici e pitture, sia nella produzione di mangimi per animali [187].

Ad ogni modo, va notato che tutti i grassi animali, indipendentemente dalla loro classificazione e dai rischi associati al loro utilizzo, possono essere impiegati come materie prime per la produzione di biocarburanti.

Inoltre, al fine di garantire la tracciabilità di questi sottoprodotti e il rispetto dei requisiti in materia di salute e sicurezza, è stato implementato il sistema TRACES NT³⁷. Tuttavia, tale sistema non sarà oggetto di discussione o approfondimento in questa sede.

Secondo l'articolo "Animal fats dilemma: How to ensure a balanced use of a precious commodity?" pubblicato da Euractiv, nel periodo compreso tra il 2018 e il 2020, la domanda di grassi animali appartenenti alla Categoria 3 per la produzione di biocarburanti è aumentata dell'88%, nonostante questi grassi non siano inclusi nell'Allegato IX della Direttiva RED³⁸. Anche se la Direttiva incentiva l'impiego dei materiali delle Categorie 1 e 2 attraverso il sistema *double counting*, a discapito di quelli della Categoria 3, la tendenza all'utilizzo di questi ultimi persiste.

Un'affermazione dell'ONG Transport & Environment riflette la crescente utilizzazione dei grassi animali della Categoria 3 per la produzione di biocarburanti e i correlati rischi precedentemente menzionati: *“le diverse applicazioni dei grassi animali mettono in evidenza la sfida di potenziare la produzione di biocarburanti provenienti da scarti. I grassi animali non crescono sugli alberi. I fornitori di mangimi per animali domestici, ad esempio, dovranno ora ridurre la sostenibilità dei loro prodotti utilizzando olio di palma. E come abbiamo visto con l'olio da cucina usato, questo aumenta anche il rischio di frode. La potenziale etichettatura errata dei grassi animali suggerisce che la frode potrebbe avvenire su scala industriale”*.

Una possibile soluzione a questa problematica riguarda l'applicabilità del principio *"food before fuel"* (cibo prima del carburante)(Euractiv). Inoltre, si evidenzia che *“sebbene il settore dei biocarburanti possa prosperare utilizzando altri tipi di materie prime, le industrie oleochimiche, del cibo per animali domestici e dei mangimi per animali non possono funzionare in modo sostenibile senza accesso a quantità sufficienti di grassi animali di Categoria 3. Anche senza nuovi incentivi, la domanda da parte dei produttori di biocarburanti per la categoria 3 è prevista aumentare significativamente man mano che l'industria espande le proprie capacità di oli vegetali idrotrattati (HVO), che si prevede raddoppieranno entro il 2030.”*

³⁷ Fonte: TRACES NT – European Commission.

³⁸ *“Elenco approvato di materie prime sostenibili per biocarburanti.”* [188]

Di conseguenza, è essenziale cercare un equilibrio nella distribuzione dei grassi animali appartenenti alla Categoria 3 tra tutti i possibili utilizzi, al fine di evitare eccessive carenze in un settore rispetto ad un altro, le quali potrebbero generare problematiche ambientali sia dirette che indirette.

La Figura 37, riportata di seguito, fornisce un riepilogo grafico dei differenti possibili utilizzi dei grassi animali, in base alla loro classificazione nelle tre categorie stabilite dalla normativa europea.

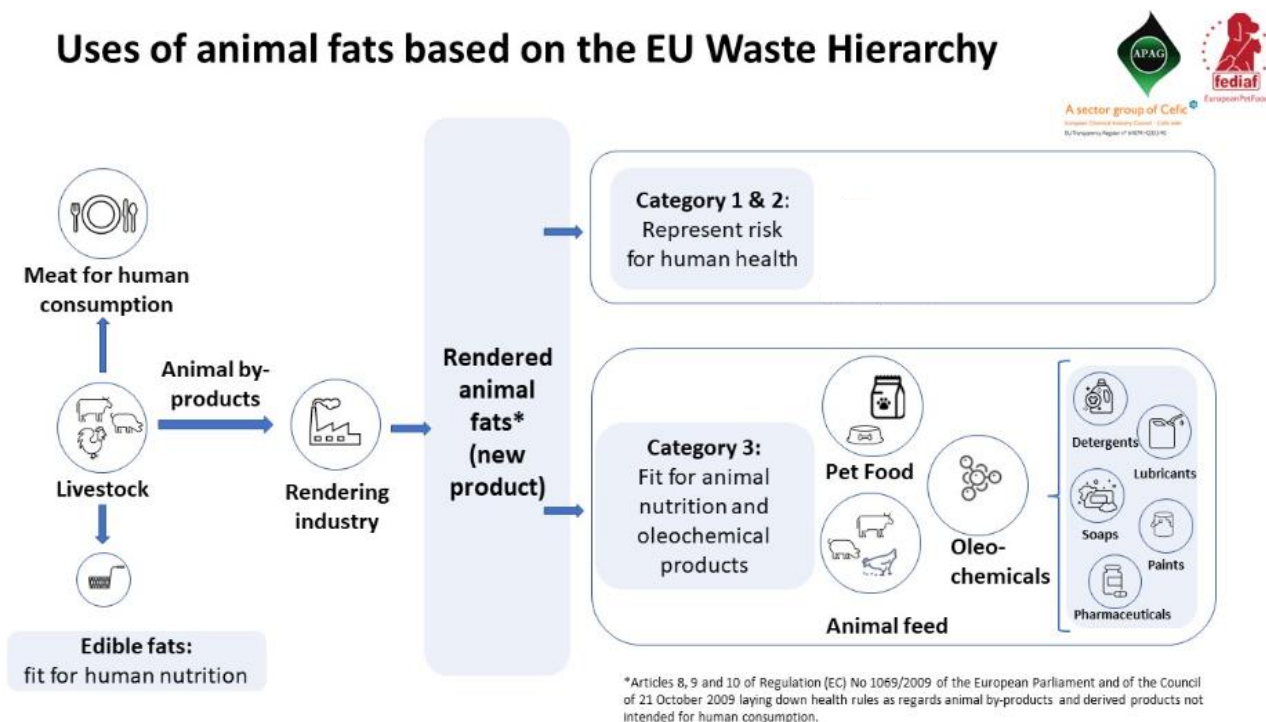


Figura 37 – Utilizzi dei grassi animali in base alla gerarchia dei rifiuti dell'UE

Fonte: “Animal fats dilemma: How to ensure a balanced use of a precious commodity?”

4.3.3 Market Overview

Il rapporto “Animal fats and oils market analysis” [189] fornisce alcuni dati relativi al mercato dei grassi e degli oli animali. Nel corso del 2023, il valore complessivo del mercato mondiale ha raggiunto la cifra di 279.30 miliardi di dollari, con prospettive di crescita fino a 475.58 miliardi di dollari entro il 2030, caratterizzate da un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 7,9% nel periodo compreso tra il 2023 e il 2030.

Analizzando il mercato globale, si osserva che nel 2022 la regione dell'Asia-Pacifico (APAC) deteneva una quota del mercato mondiale pari al 40%, seguita dal Nord America con il 25% e dall'Europa con il 20%.

I principali driver in grado di spiegare la rapida crescita di questo mercato includono l'aumento demografico in tutte le regioni, che indirettamente stimola la domanda di prodotti derivati dagli animali, e la crescita del settore dei biocarburanti e dei prodotti oleochimici, che utilizzano i Sottoprodotti di Origine Animale come materie prime.

Un'ulteriore analisi dei dati EFPPRA del 2022 consente di esaminare i trend dei volumi di produzione del grasso animale in Europa nel periodo 2009-2021, come rappresentato nella Figura 38.

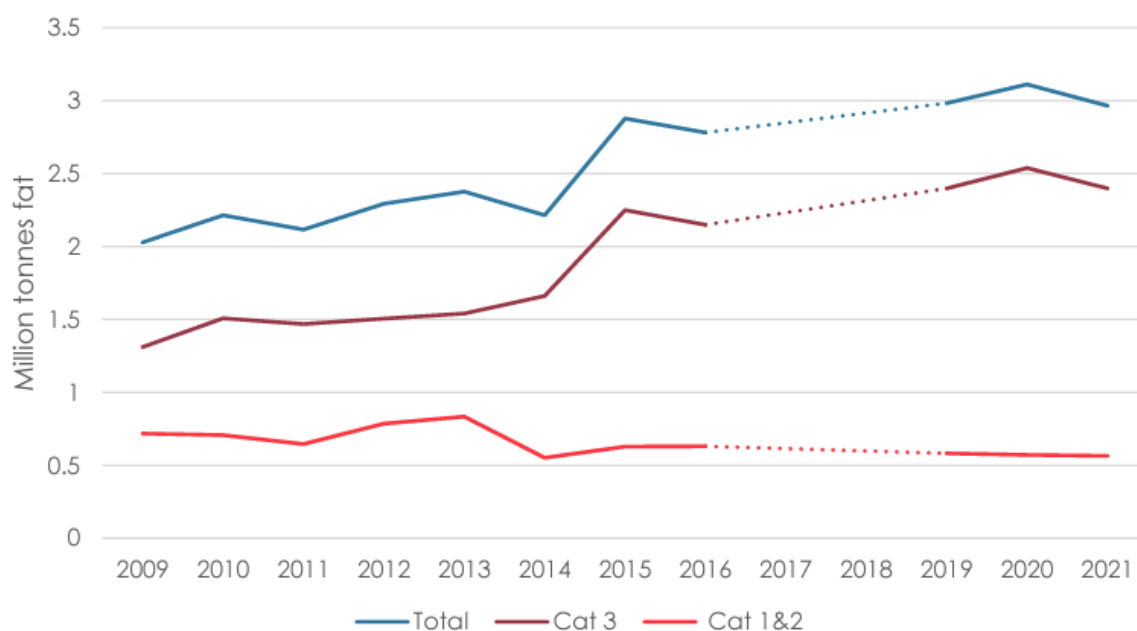


Figura 38 - Produzione di grasso animale, 2009-2021

Fonte: EFPPRA

Nel 2021 i membri dell'EFPPRA (European Fat Processors and Renderers Association, che rappresenta 23 dei 27 Stati membri, più la Norvegia, la Svizzera e il Regno Unito) "hanno trasformato circa 18.6 milioni di tonnellate di materiale animale in circa 3 milioni di tonnellate di grassi animali e oltre 4 milioni di tonnellate di proteine animali". Per quanto riguarda i grassi animali, 2.4 milioni di tonnellate appartenevano alla Categoria 3, mentre 570 mila tonnellate alle Categorie 1 e 2. Come evidenziato dalla Figura 38, i materiali della Categoria 3 hanno mostrato un costante aumento della produzione nel corso degli anni, passando da 1.3 milioni di tonnellate nel 2009 a 2.4 milioni di tonnellate nel 2021. Al contrario, la produzione dei materiali appartenenti alle Categorie 1 e 2 ha evidenziato un trend più stabile nel periodo considerato.

Secondo il report, la crescita dei volumi di produzione dei grassi animali appartenenti alla Categoria 3 può essere attribuita principalmente a due fattori. In primo luogo, vi è stato un significativo cambiamento nella copertura di mercato della Categoria 3 da parte dell'EFPPRA, che è passata dal 74% all'80-85%. In secondo luogo, i produttori hanno adottato nuove tecnologie volte a migliorare il recupero dei grassi dal materiale lavorato.

Per quanto concerne l'importazione in Europa di materiale appartenente alle Categorie 1, 2 o 3, sussistono diverse barriere e limitazioni. L'assenza di una categorizzazione analoga al di fuori dell'Unione Europea, unitamente alla necessità di controlli specifici, alla documentazione richiesta e

ai costi elevati associati al trasporto, rappresentano ostacoli significativi per l'importazione di tali materiali in Europa.

Nonostante queste difficoltà, nel periodo compreso tra il 2007 e il 2021, le importazioni di grasso animale in Europa hanno registrato un incremento di circa 150 mila tonnellate, come evidenziato dalla Figura 39. Tuttavia, tale incremento rappresenta una quantità quasi trascurabile se confrontata con il volume totale di produzione di 3 milioni di tonnellate registrato nel 2021. Ciò indica che, nei Paesi dell'UE, *“il consumo di grassi animali per la produzione di biocarburanti è dominato da risorse generate internamente”*.

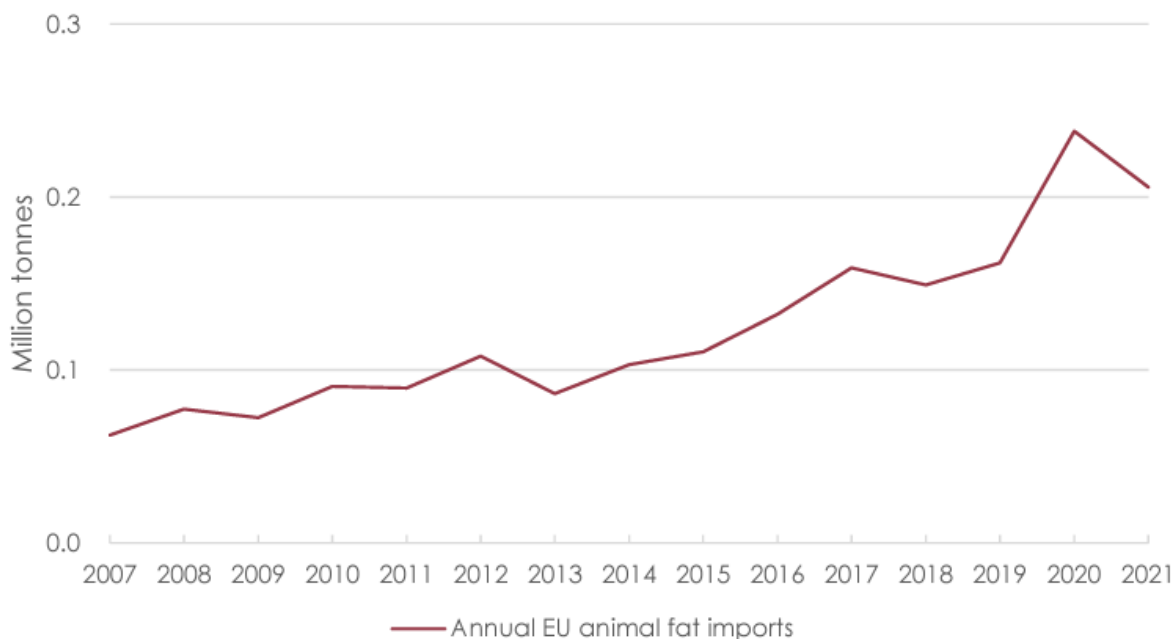


Figura 39 - Importazioni di grasso animale nell'Unione Europea, oli di pesce esclusi. 2007-2021.

Fonte: Eurostat

In ultima analisi, emerge chiaramente che lo sviluppo dell'industria dei biocarburanti costituisce un mercato altamente attrattivo per i produttori di grasso animale. La Figura 40 presenta le quantità di grasso animale impiegato nella produzione di biocarburanti, suddividendo i dati in base alle tre Categorie. Nonostante i grassi appartenenti alla Categoria 3 siano soggetti a *single counting*, essi stanno assumendo un ruolo sempre più rilevante nell'ambito dell'industria della produzione di biocarburanti. Inoltre, secondo i dati del report *“The fat of the land. The impact of biofuel demand on the European market for rendered animal fats”*, una constatazione di rilievo riguarda il fatto che *“l'uso del materiale di Categoria 1 e 2 per il biodiesel è ora più o meno al massimo - il 96% dei grassi di Categoria 1 e 2 sono stati identificati come destinati al biodiesel nel 2021 - e quindi l'unico modo per aumentare l'uso dei grassi animali generati nell'UE è ora aumentare ulteriormente il consumo del materiale di Categoria 3”*.

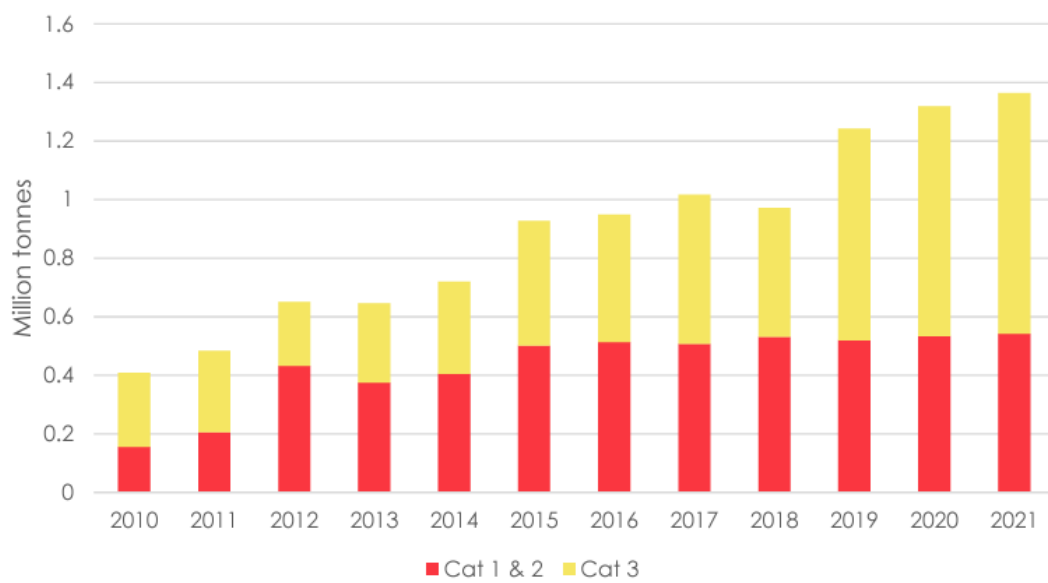


Figura 40 - Grasso animale utilizzato per la produzione di biodiesel, diviso per categoria.

Fonte: dati EFRA

CAPITOLO QUINTO

ANALISI DEL MERCATO DEI SUSTAINABLE AVIATION FUEL

Il presente capitolo si propone di fornire un'analisi dettagliata del mercato dei Sustainable Aviation Fuel, con particolare attenzione iniziale alle caratteristiche della domanda - attuale e futura - e dell'offerta, esplorando i limiti e le preoccupazioni legate alla possibilità che quest'ultima non sia in grado di soddisfare una domanda in crescita. Sarà inoltre condotta un'analisi dei costi, inizialmente confrontando i costi di produzione tra i vari processi produttivi impiegati per la realizzazione dei SAF, successivamente confrontando i costi di produzione nelle catene del valore dei processi HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) e PtL (Power-to-Liquid), e infine confrontando il prezzo dei SAF con quello del carburante fossile tradizionale.

L'obiettivo successivo riguarderà l'analisi dei principali attori del mercato, con un focus su aziende di rilievo come Neste Oyj, Gevo, Shell Global e TotalEnergies. In questo contesto, verranno esaminati i rispettivi ruoli, strategie e impatti sul mercato dei SAF.

Infine, verranno esaminate le barriere individuate nel mercato dei SAF, insieme a potenziali strategie di mercato atte a superarle. Tale analisi si propone di comprendere le sfide che l'industria affronta e di individuare le opportunità emergenti per il futuro sviluppo del settore.

5.1 DOMANDA

Secondo le recenti analisi condotte da Precedence Research [190], il mercato dei Sustainable Aviation Fuel nel 2023 ha attestato una valutazione di 619,91 milioni di dollari. Tuttavia, ci si attende un marcato incremento sia nella domanda che nella valutazione di questo settore nel corso degli anni, in linea con gli obiettivi a medio-lungo termine stabiliti a livello internazionale ed europeo.

Come evidenziato nella Figura 41, infatti, ha proiettato una crescita significativa delle dimensioni globali del mercato dei SAF nel periodo compreso tra il 2023 e il 2032. Si osserva un trend di crescita costante, quasi esponenziale, con una stima che indica una valutazione del mercato di 14.482,13 milioni di dollari nel 2032, ad un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 42,39%.

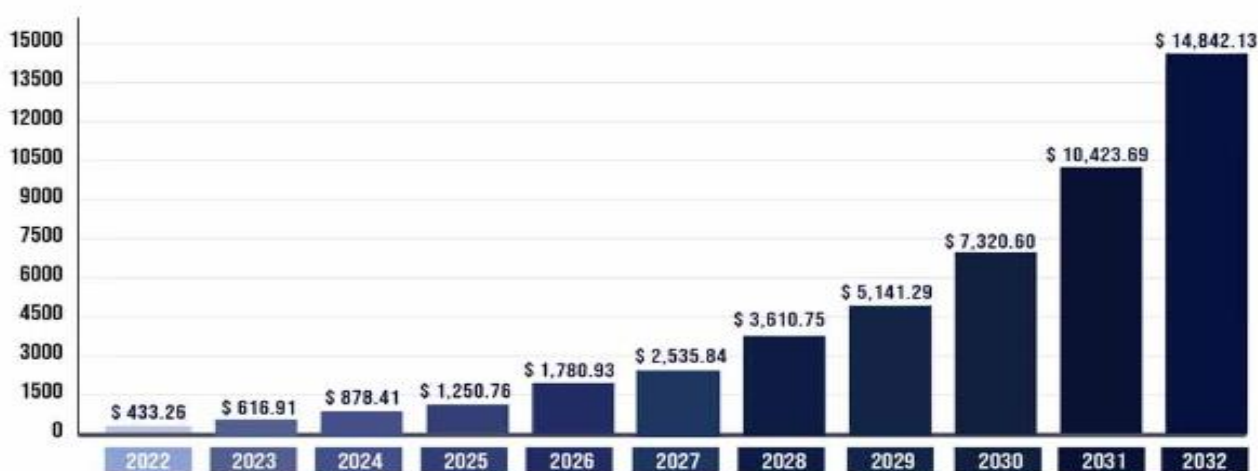


Figura 41 - Dimensione del mercato dei Sustainable Aviation Fuel, 2023-2032 (in milioni di dollari)

Fonte: Precedence Research

Inoltre, secondo le analisi contenute nel report “From feedstock to flight. How to unlock the potential of SAF” [191], pubblicato da Strategy& PwC, forniscono dati interessanti sulle prospettive della domanda di SAF per gli anni 2030, 2040 e 2050. Come riporta lo studio, la premessa di base delle analisi è che “*per ottenere una panoramica della domanda mondiale di SAF*”, è stato adottato lo Scenario Net Zero dell’Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA). Nella Figura 42 sono riportate le quote minime di SAF richieste seguendo lo Scenario dell’IEA, ovvero la base di partenza per le successive analisi sulla domanda dei carburanti sostenibili per l’aviazione.

	2025	2030	2035	2040	2050
SAF share	2%	15%	32%	50%	75%
thereof PtL	/	2%	7.5%	15%	30%

Figura 42 - Quota SAF minima richiesta seguendo lo Scenario Net Zero dell'agenzia Internazionale dell'Energia.

Fonte: IEA (2021)

L’analisi della distribuzione prospettica della domanda di SAF tra le diverse regioni mondiali (Figura 43), evidenzia che l’area dell’Asia Pacifico (APAC) e del Medio Oriente (ME), “*in forte crescita*”, presenta “*una domanda attesa di circa 200 milioni di tonnellate metriche (mt), entro il 2050*”. Tale prospettiva è definita sulla base del conseguimento degli obiettivi stabiliti nello Scenario Net Zero dell’IEA.

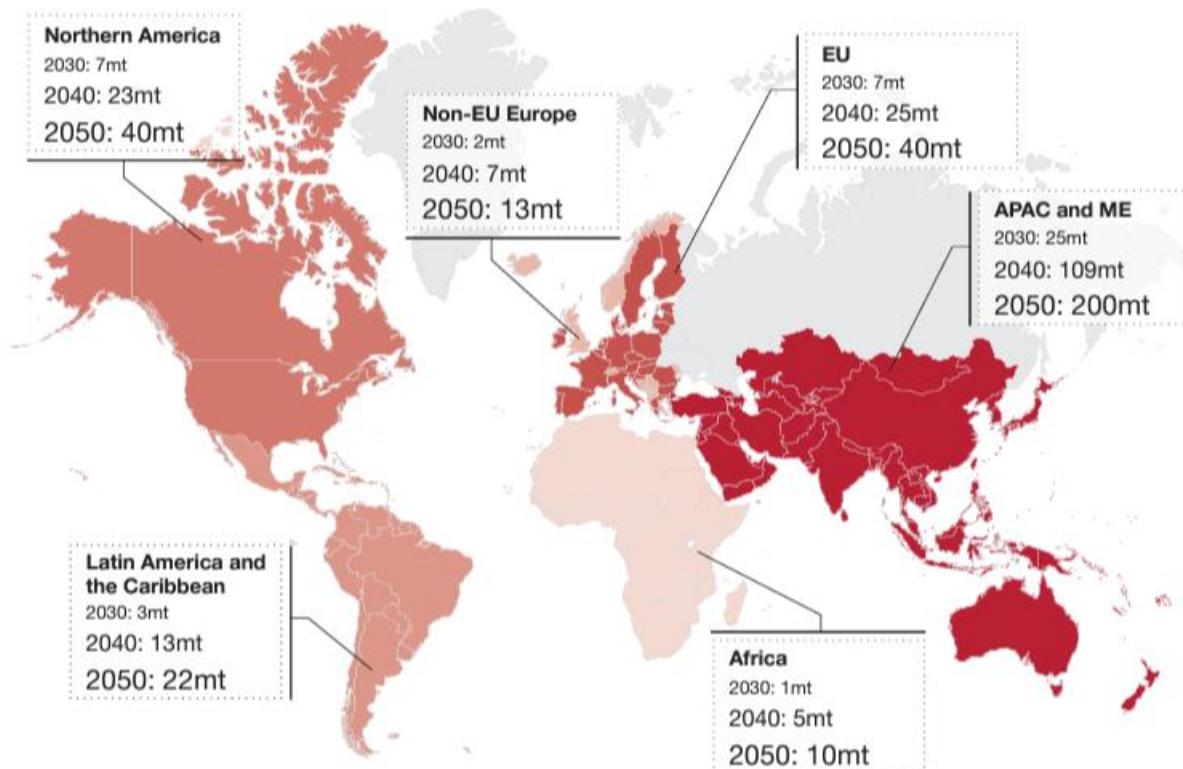


Figura 43 - Suddivisione regionale della domanda totale di SAF nello Scenario Net Zero dell'IEA (cifre arrotondate)

Fonte: Strategy& analysis, Sabre, IHS, Airbus (2023)

Strategy& PwC sottolinea, inoltre, che la significativa crescita del mercato dei SAF nelle regioni dell'APAC e del ME sarà principalmente attribuibile alle regolamentazioni che si applicheranno nel corso degli anni, ma soprattutto alla *“alla buona disponibilità materie prime, sia di origine biologica che di energia rinnovabile per l'idrogeno verde”*. Tali fattori daranno *“origine a enormi opportunità per queste regioni”*, che consentiranno loro di *“trarre vantaggio economico dal crescente mercato del SAF”*.

In un quadro più ampio, invece, la spinta predominante dietro all'espansione progressiva del mercato dei SAF risiede nell'ambito normativo. Le principali economie globali, come l'Europa e gli Stati Uniti, hanno formulato una serie di obiettivi finalizzati a incentivare l'adozione dei carburanti sostenibili per l'aviazione nei prossimi anni.

Come delineato nell'analisi condotta nel secondo capitolo, l'Unione Europea ha istituito, tramite il regolamento ReFuelEU Aviation, delle quote minime di carburante sostenibile da integrare con i tradizionali carburanti fossili. L'obiettivo per il 2030 è di raggiungere almeno il 6% di utilizzo di SAF, con l'ambizione di aumentare tale percentuale al 70% entro il 2050.

Parallelamente, il Regno Unito ha formulato la strategia denominata "Pathway to net zero aviation: Developing the UK sustainable aviation fuel mandate" [192], la quale presenta obiettivi ancora più ambiziosi rispetto a quelli dell'Unione Europea. Tale strategia prevede di raggiungere almeno il 10% di utilizzo di SAF entro il 2030 e il 75% entro il 2050.

Negli Stati Uniti, invece, con la *“SAF Grand Challenge Roadmap”* [193], il target è quello di raggiungere una produzione domestica di SAF pari a 3 miliardi di galloni all'anno (circa 9,0848 milioni di tonnellate metriche) entro il 2030, e di 35 miliardi di galloni all'anno (circa 106 milioni di tonnellate metriche) entro il 2050.

In aggiunta, durante la Terza Conferenza sui Carburanti Alternativi per l'Aviazione (Conference on Aviation Alternative Fuels - CAAF/3), organizzata dall'ICAO, è stato concordato *“un quadro globale per promuovere la produzione di SAF in tutte le aree geografiche, al fine di ridurre del 5% l'intensità di carbonio dei carburanti utilizzati nell'aviazione internazionale entro il 2030”* [194].

La definizione di obiettivi nel medio e lungo termine rappresenta un meccanismo regolatorio che inevitabilmente influenzerà la crescita della domanda di SAF nel corso del tempo.

Al fine di perseguire tali obiettivi prestabiliti, sia i governi che le compagnie aeree hanno manifestato un sostegno attivo all'adozione di quote sempre più significative di carburanti sostenibili. Secondo l'International Air Transport Association (IATA), infatti, nel 2023 *“ogni goccia di SAF prodotta è stata acquistata e utilizzata”*, e inoltre *“almeno 43 compagnie aeree si sono già impegnate a utilizzare circa 16,25 miliardi di litri (13 Mt) di SAF nel 2030”*.

Tuttavia, considerando che gli obiettivi globali per l'utilizzo dei SAF sono di natura aspirazionale, le preoccupazioni relative all'effettivo raggiungimento dei target non derivano direttamente dai livelli della domanda. Il principale interrogativo riguarda piuttosto la questione dell'adeguatezza dell'offerta e della capacità produttiva per fronteggiare in modo costante l'aumento della domanda.

5.2 OFFERTA

Secondo le stime di S&P Global [195], *“la produzione di carburante sostenibile per l'aviazione nel 2024 triplicherà rispetto ai livelli del 2023, raggiungendo 1,875 miliardi di litri, o 1,5 milioni di tonnellate metriche”*. Tuttavia, i livelli previsti per il 2024 rappresenteranno solamente lo 0,53% del fabbisogno totale di carburante per l'aviazione, e solo il 6% del totale di carburante proveniente da fonti rinnovabili. Questo divario, come evidenziato da IATA, è dovuto al fatto che grandi quantità di carburante rinnovabile sono destinate ad altri settori al di fuori dell'aviazione.

A tal proposito, il Direttore Generale dell'IATA, Willie Walsh, ha commentato che *“il SAF come parte di tutta la produzione di carburante rinnovabile crescerà solo al 6% nel 2024, rispetto al 3% del 2023. [Tale] allocazione mantiene i prezzi alti, mentre l'aviazione necessita che [una quantità compresa] tra il 25% e il 30% della capacità produttiva di carburante rinnovabile sia destinata al SAF”*. Walsh continua dichiarando che *“fino a quando non si raggiungeranno tali livelli, continueremo a perdere enormi opportunità per promuovere la decarbonizzazione dell'aviazione. È la politica governativa che farà la differenza”*.

Le dichiarazioni del Direttore Generale dell'IATA riflettono le preoccupazioni circa la capacità effettiva della produzione e dell'offerta di carburante sostenibile per l'aviazione di far fronte alla crescita esponenziale della domanda nei prossimi anni.

Lo studio condotto da Strategy& PwC (*“From feedstock to flight How to unlock the potential of SAF”*), pertanto, si propone di fornire una risposta a tali interrogativi. *“Tenendo conto della limitata disponibilità di materie prime e della competizione nella domanda di biocarburanti”*, l'analisi prevede che la domanda mondiale di SAF verrà soddisfatta principalmente da SAF di origine biologica e da SAF generato tramite la tecnologia del Power-to-Liquid (PtL). L'assunzione alla base delle previsioni è che *“sia i produttori che gli acquirenti ottimizzino i costi scegliendo il tipo di SAF più economico disponibile³⁹”*.

³⁹ *“Quando, ad esempio, il PtL diventerà più economico dell'HEFA o dell'Advanced Biomass to Liquids (ABtL) – cosa che dovrebbe accadere verso la metà degli anni 2040 – il PtL sarà probabilmente utilizzato sempre di più. Si stima che le quantità previste di HEFA e ABtL diminuiranno di conseguenza.”* [191]

Pertanto, la Figura 44 illustra le quantità previste che saranno necessarie per soddisfare la domanda di SAF nel periodo 2025-2050, suddividendo per intervalli di 5 anni e distinguendo tra carburante di origine biologica e carburante PtL.

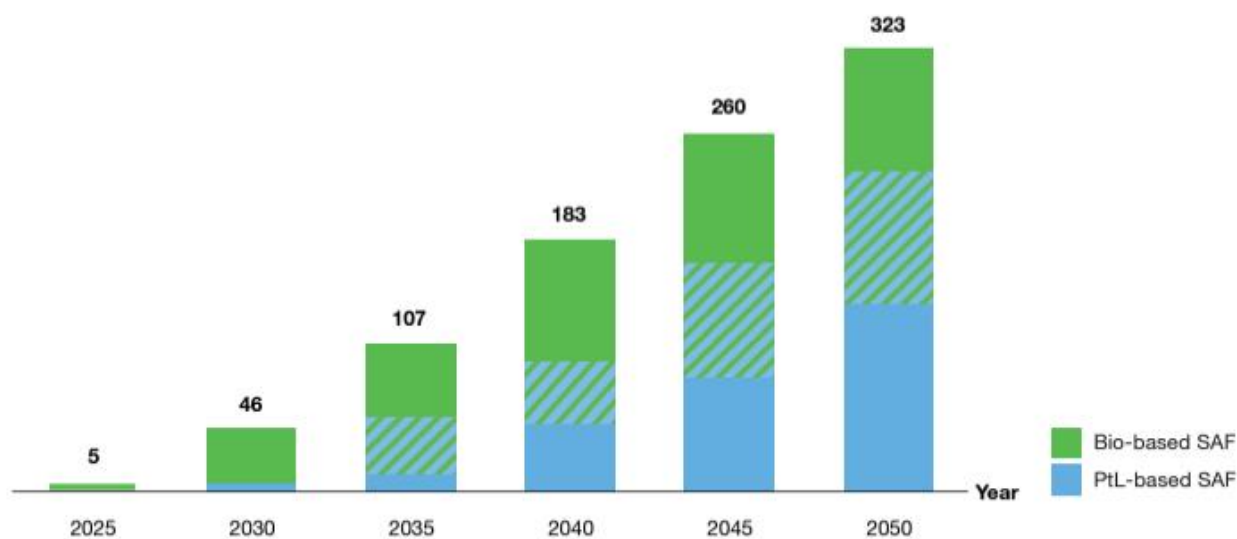


Figura 44 - Suddivisione tra fornitura di SAF a base biologica e a base PtL (in milioni di tonnellate)

Fonte: Strategy& analysis

Con l'avanzamento tecnologico, gli investimenti in capitale (CAPEX)⁴⁰ per la produzione di carburante a partire dall'energia elettrica (tramite la tecnologia PtL) diminuiranno progressivamente, principalmente a causa dell'aumento dei volumi di produzione e dell'efficienza. Questo trend comporterà importanti vantaggi competitivi per i Paesi dotati di abbondanti risorse di energia rinnovabile.

Allo stesso tempo, per far fronte al progressivo aumento di efficienza della tecnologia PtL e alla riduzione dei costi di produzione dovuti al raggiungimento di economie di scala, anche i produttori di carburanti di origine biologica saranno costretti a valutare nuove strategie per mantenere la loro competitività. Secondo quanto riportato da Strategy& PwC, tali produttori *“potrebbero dover abbassare i loro prezzi, spostare i loro volumi di produzione verso altre industrie (ad esempio, il trasporto marittimo o i prodotti chimici), o migliorare gradualmente le loro strutture di produzione bio-based”*.

Sulla base delle informazioni presenti nello studio “Sustainable Aviation Fuel Outlook” pubblicato da Cena Hessen [197], al 31 ottobre 2023 si contavano 144 progetti attivi per la produzione di SAF, distribuiti in 33 Paesi del mondo. Come illustrato nella Figura 45, il 49% dei progetti era *“localizzato nel continente europeo (71), il 28% in Nord America (40) e il 14% in Asia (20)”*.

⁴⁰ “Capital Expenditures (CAPEX) rappresentano flussi di cassa in uscita per la realizzazione di investimenti in attività immobilizzate di natura operativa. Si tratta, cioè, di investimenti in capitale fisso.” [196]

A livello nazionale, gli Stati Uniti (34 progetti) emergono come leader con il maggior numero di progetti in corso, seguiti dalla Germania (20 progetti), Regno Unito (12 progetti) e Paesi Bassi (11 progetti). Tuttavia, è importante notare che non tutti i progetti menzionati si trovano allo stesso stadio di implementazione.

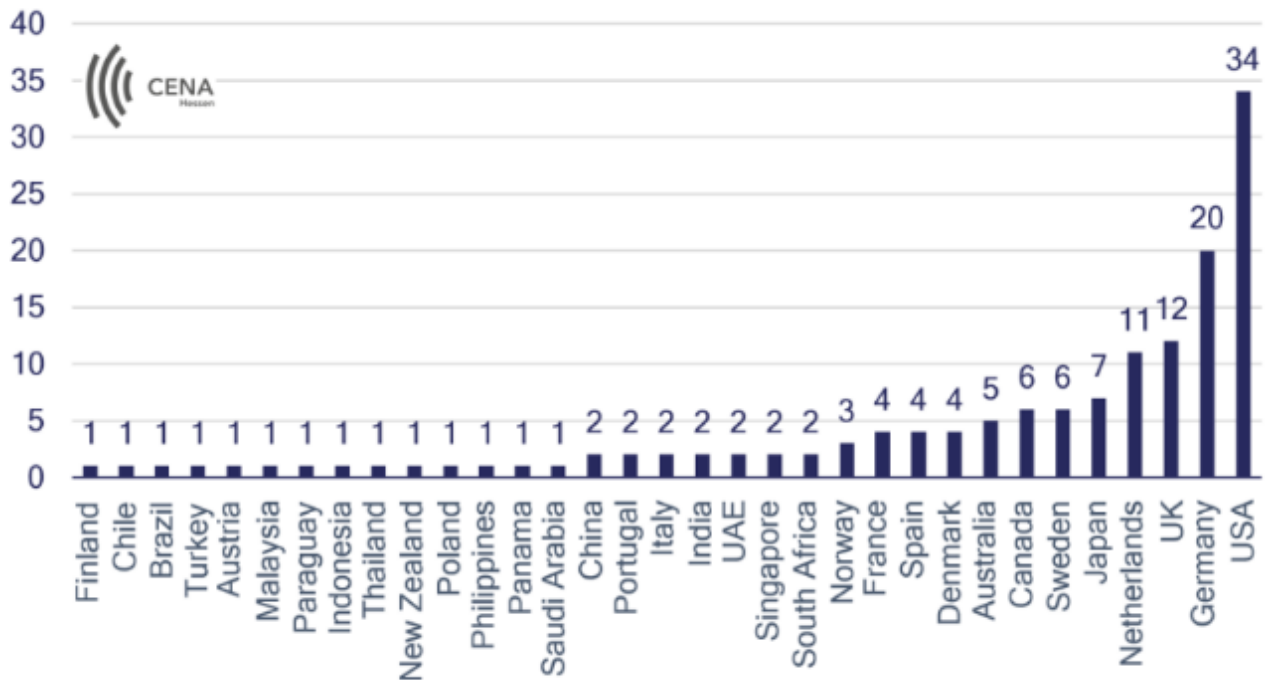


Figura 45 - Numero e fase di implementazione dei progetti SAF, divisi per continente.

Fonte: CENA Hassen

La Figura 46 fornisce una distinzione tra progetti attivi ("in operation"), in fase di costruzione o di messa in funzione ("under construction/in commissioning"), in fase di pianificazione ("in planning") e in fase di ideazione ("idea").

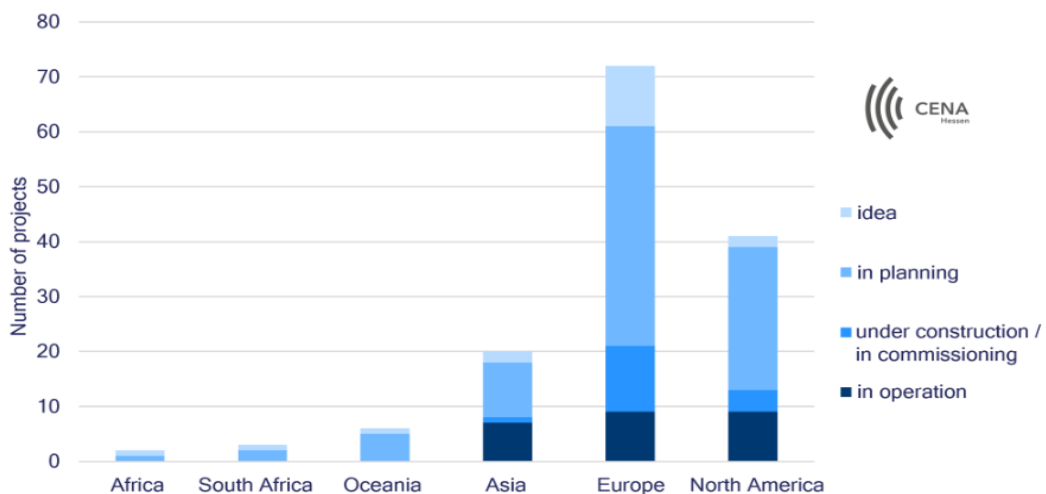


Figura 46 - Numero e fase di implementazione dei progetti SAF, divisi per continente.

Fonte: CENA Hassen

Tenendo conto dei progetti attualmente attivi in tutto il mondo per la produzione di SAF, e secondo i dati forniti da CENA Hessen, nel 2023 sono state prodotte circa 2 milioni di tonnellate metriche di carburante sostenibile per l'aviazione. Inoltre, come illustrato nella Figura 47, i volumi di produzione di SAF annunciati per i prossimi anni si aggirano intorno a 9 milioni di tonnellate metriche per il 2026, 18 milioni di tonnellate metriche per il 2028 e quasi 30 milioni di tonnellate metriche per il 2030.

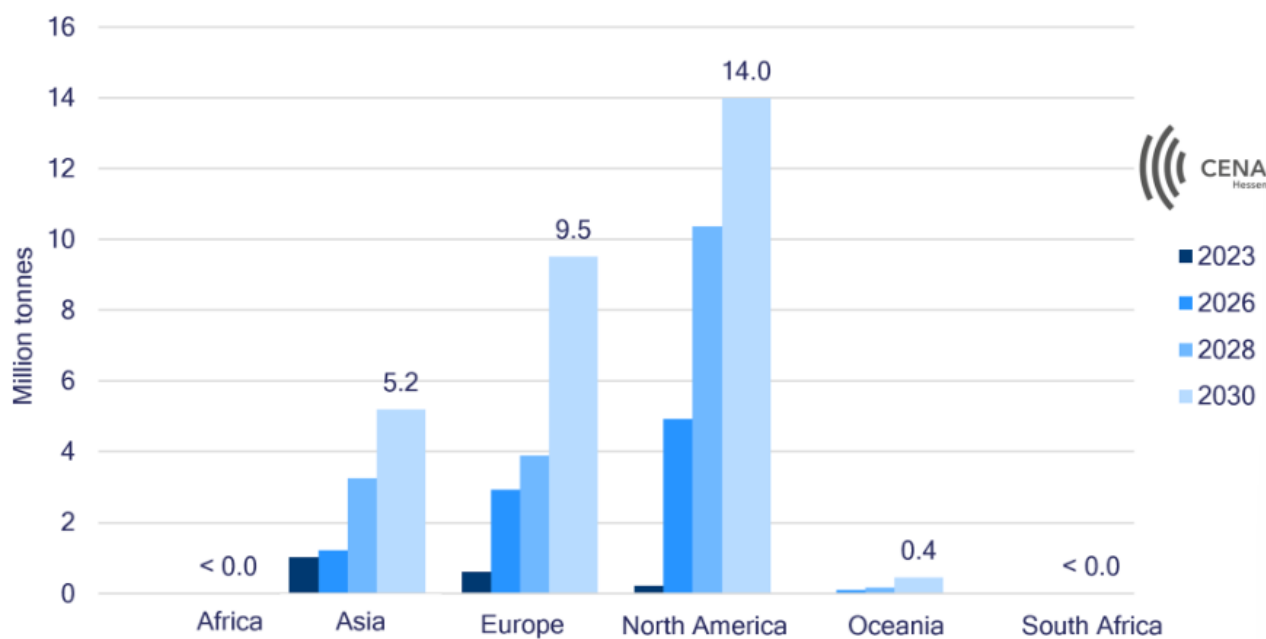


Figura 47 - Volumi di produzione di SAF annunciati per il periodo 2023-2030, per continente.

Fonte: CENA Hessen

Confrontando i volumi di produzione di SAF previsti con i quantitativi necessari per soddisfare la domanda di SAF nel periodo 2025-2050 (Figura 44), si evidenzia uno squilibrio di 16 milioni di tonnellate metriche entro il 2030. Questo indica che, secondo le previsioni basate sui progetti attualmente attivi e in fase di messa in funzione, non sarà possibile coprire completamente la domanda prevista di carburanti sostenibili per l'aviazione entro il 2030.

La realtà delineata evidenzia una situazione critica nel settore dei carburanti sostenibili per l'aviazione, poiché, in base alle capacità produttive degli impianti attualmente operativi e dei progetti annunciati, sembra che il mercato sia ancora lontano dal soddisfare adeguatamente le crescenti esigenze. Come riportato nello studio di Strategy& PwC, “secondo le recenti pubblicazioni dell'IATA, ad oggi sono solo 11 i siti di produzione di SAF pienamente operativi”. Il documento, inoltre, stima che “per soddisfare i livelli di domanda globali previsti, come stabilito dallo Scenario Net Zero dell'IEA”, “saranno necessari da 100 a 200 siti di produzione di SAF entro il 2030”, con una proiezione che si attesta tra le 440 e le 490 fabbriche entro il 2050.

A livello economico (Figura 48), è previsto un investimento in Capitale Fisso (CAPEX) di circa 1.000 miliardi di dollari (cumulativo, non scontato⁴¹), ovvero il costo che i produttori di SAF dovranno sostenere per garantire sufficienti livelli di produzione in grado di soddisfare la domanda.

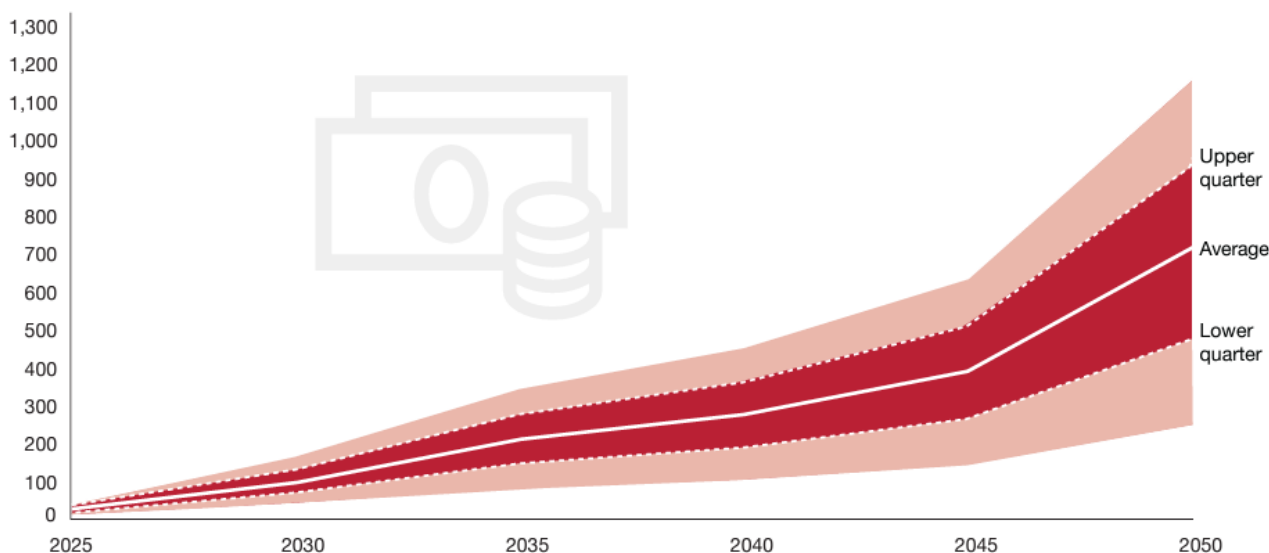


Figura 48 – Investimenti in CapEx necessari al soddisfacimento della domanda di SAF prevista per il periodo 2025-2050

(in miliardi di euro)

Fonte: Strategy& Analysis

Un grafico di questo tipo risulta notevolmente esplicativo. È necessario effettuare investimenti costanti e significativi al fine di aumentare la capacità produttiva degli impianti esistenti, costruire nuove strutture e migliorare l'efficienza complessiva. All'interno del report, inoltre, viene sottolineato che *“qualsiasi divario negli investimenti comporterà inevitabilmente una capacità produttiva inadeguata e un deficit rispetto alle quote stabilite, poiché la mancanza di capacità si accumula. Ciò, a sua volta, potrebbe ritardare la transizione verso l'aviazione sostenibile di molti anni. Oltre alla creazione delle strutture produttive stesse, nel frattempo, è necessario intensificare e stimolare l'intera catena del valore. In altre parole, sono necessari maggiori investimenti in tutto l'ecosistema”*.

In aggiunta, anche la disponibilità delle materie prime costituisce un determinante critico della quantità di SAF disponibile sul mercato. L'approvvigionamento costante e adeguato di feedstock appropriati è essenziale per garantire una produzione sostenibile e continuativa di SAF. Secondo Greenair [198], nel corso degli anni sono stati effettuati diversi studi in merito alla disponibilità dei diversi feedstock necessari per soddisfare la domanda di SAF nel futuro.

⁴¹ Si fa riferimento al valore totale accumulato nel tempo, senza considerare il Valore Attuale dei flussi di cassa.

In particolar modo, lo studio del World Economic Forum “Clean Skies for Tomorrow. Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation” [199] ha dimostrato che “la disponibilità di materie prime non rappresenta un limite per la produzione di Sustainable Aviation Fuels (SAF) e che abbastanza materie prime biogene sono disponibili in tutto il mondo per produrre circa 500 milioni di tonnellate (621 miliardi di litri) di SAF entro il 2050”.

Tuttavia, è importante sottolineare che lo studio in questione non ha considerato i possibili utilizzi alternativi delle materie prime prese in esame. Pertanto, secondo i documenti dell'ICF, basati sulle analisi dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) e della Commissione sulle Transizioni Energetiche, l'assunto alla base del rapporto WEC-CST potrebbe aver influenzato i risultati in modo distortivo. Come riporta Greenair, infatti, “i feedstock valutati nel rapporto ICF sono stati limitati in base alla sostenibilità, e colture come oli vegetali, mais, canna da zucchero e altre sono state escluse, in linea con gli obiettivi di sostenibilità del settore”.

Di conseguenza, i risultati ottenuti da ICF hanno dimostrato che le materie prime biologiche saranno in grado di soddisfare circa la metà della domanda totale di SAF del 2050.

Inoltre, come illustrato nella Figura 49, seguendo lo “scenario di sviluppo maggiormente aggressivo”, ICF individua tre fasi di distribuzione dei SAF. La prima fase riguarda il processo di produzione HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids), “che utilizza grassi di scarto”. Sebbene rappresenti, attualmente, il processo produttivo nella fase più avanzata, è fondamentale notare che il processo HEFA sarà in grado di coprire solo il 10% della produzione totale di SAF nel 2050.

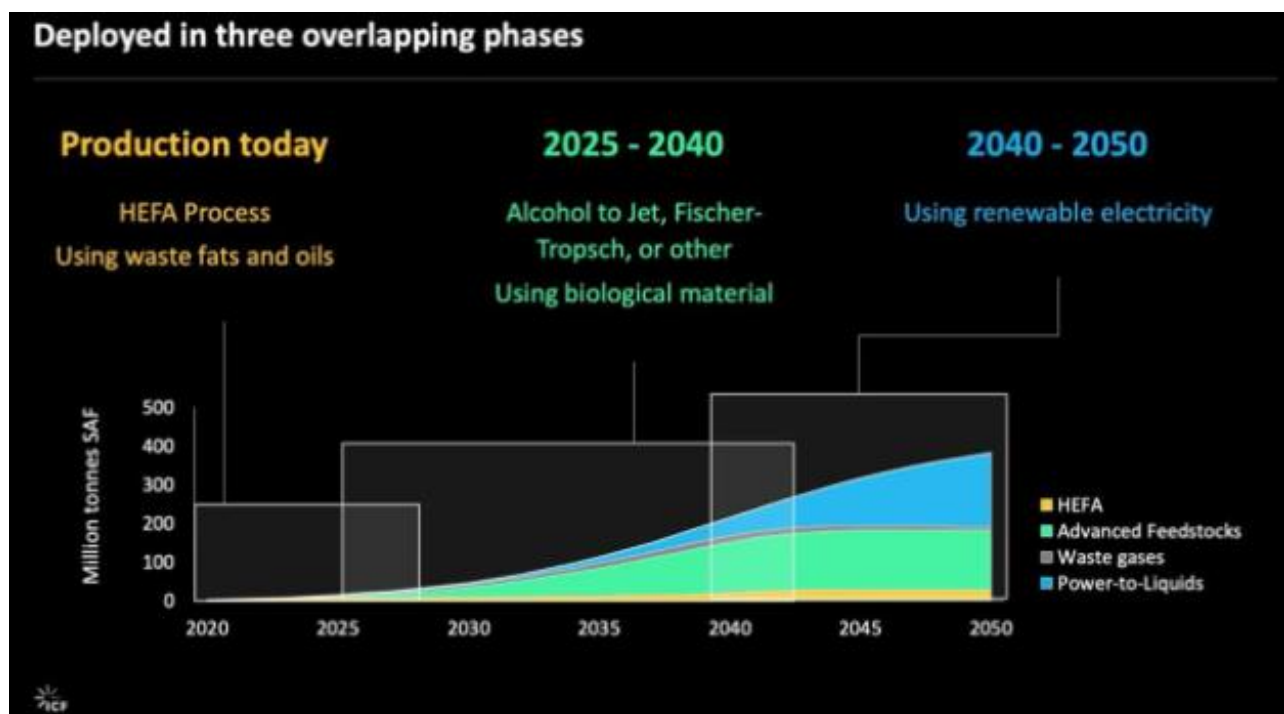


Figura 49 - Scenario dello sviluppo dei processi produttivi, 2020-2050.

Fonte: ICF

Per questo motivo, a partire dal 2025, si prevede che altri processi produttivi, come l'Alcohol to Jet (AtJ) o il Fischer-Tropsch (FT), in grado di produrre carburante a partire da rifiuti urbani solidi (Municipal Solid Waste – MSW) e residui forestali, avranno la prevalenza sui processi HEFA e riusciranno a coprire una quota significativa dell'offerta totale di SAF del 2050.

Per il decennio 2040-2050, invece, è previsto che la tecnologia Power-to-Liquid (PtL) raggiunga uno sviluppo tale da diventare una sempre più importante per la produzione di SAF. Il miglioramento di questa tecnologia – che non prevede l'impiego di biomassa – rappresenterebbe un notevole avanzamento nel settore della produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione. Di conseguenza, una considerevole quantità di biomassa, precedentemente utilizzata per la produzione di carburanti, potrebbe essere dirottata verso altri utilizzi alternativi.

5.3 ANALISI DEI COSTI

L'offerta di Sustainable Aviation Fuel è strettamente legata ai costi di produzione, i quali, a loro volta, possono essere influenzati da una serie di variabili. Questi fattori rappresentano un ostacolo significativo alla produzione su larga scala e alla fornitura consistente nel mercato dei SAF.

Come discusso in precedenza, la carenza di impianti adeguati rappresenta una delle principali sfide, poiché la creazione di strutture per la produzione di SAF richiede investimenti sostanziali in termini di capitale e tecnologia. Questo può limitare la capacità di produzione e causare una carenza di approvvigionamento.

In aggiunta alla mancanza di impianti, la volatilità dei prezzi delle materie prime è un altro fattore che influenza i costi di produzione dei SAF. I feedstock utilizzati possono essere soggetti a fluttuazioni di prezzo a causa di fattori come la domanda globale, le condizioni meteorologiche e le politiche governative. Tale incertezza può rendere difficile per i produttori prevedere i costi di produzione e stabilire prezzi competitivi sul mercato.

5.3.1 Costi di produzione: confronto tra processi produttivi

Secondo quanto riportato nell'articolo "Stronger supply of sustainable aviation fuels crucial to securing uptake", pubblicato da ING [200], i costi di produzione dei carburanti sostenibili per l'aviazione variano significativamente a seconda del processo di produzione utilizzato.

La Figura 50, elaborata da ING con il supporto dei dati forniti dal World Economic Forum (WEF), illustra “lo sviluppo dei costi di produzione per ogni processo produttivo dei SAF (con limite inferiore e superiore), come multiplo del costo del carburante per jet [tradizionale]”.

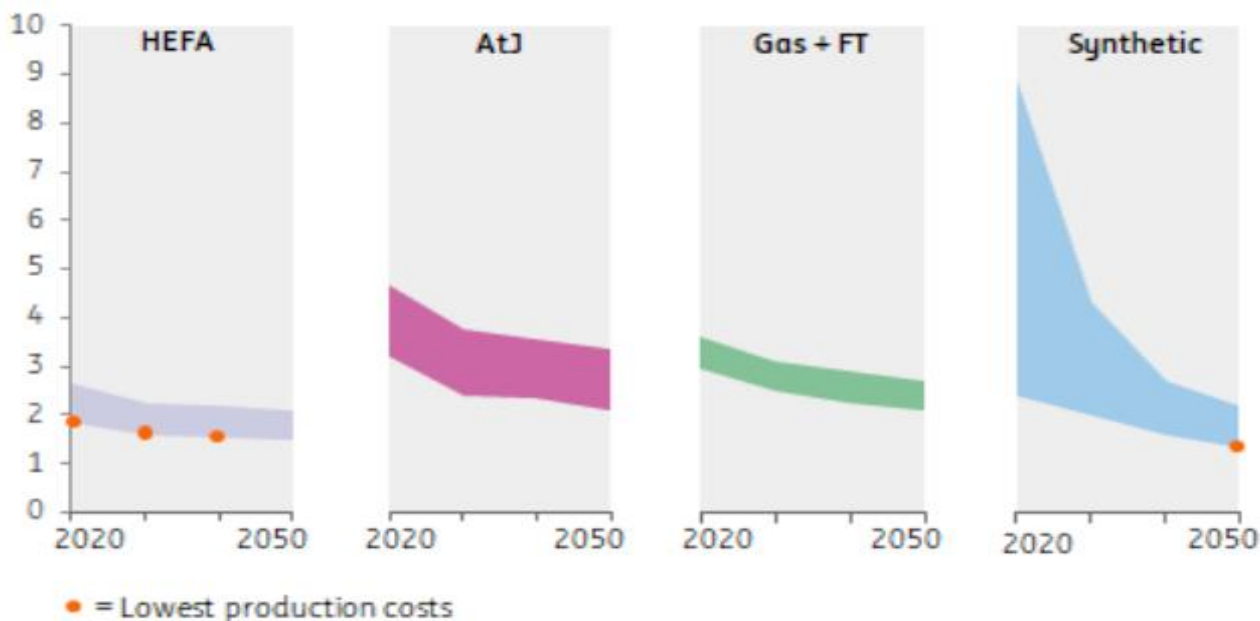


Figura 50 - Sviluppo dei costi di produzione per ogni processo produttivo dei SAF (con limite inferiore e superiore), come multiplo del costo del carburante per jet [tradizionale].

Fonte: WEF, ING Research

Risulta ormai chiaro che il processo HEFA, “che utilizza oli biologici e grassi riciclati come materie prime”, rappresenta attualmente la tecnologia più matura per la produzione di SAF. Questa condizione, pertanto, lo rende anche il processo produttivo più competitivo. Grazie al livello di efficienza raggiunto da questa tecnologia, è possibile generare SAF con costi di produzione stimati in un range compreso tra “1,8 e 2,7 volte il costo del carburante per jet convenzionale”.

Attualmente, dunque, altre tecnologie come Alcohol to Jet (AtJ), Gasification + Fisher-Tropsch (Gas + FT) e il Power-to-Liquid (PtL) presentano dei costi più elevati rispetto all’HEFA, come si può notare dalla Figura 50. Almeno per i prossimi 20 anni, in termini di costi di produzione, l’HEFA rimarrà il metodo più conveniente per ottenere SAF.

Le precedenti analisi delle prospettive di domanda e offerta di SAF hanno evidenziato che, nei prossimi decenni, il carburante prodotto dalla sola tecnologia HEFA sarà insufficiente a soddisfare integralmente le esigenze del mercato. Pertanto, diventa essenziale focalizzarsi sull’ottimizzazione delle altre tecnologie, al fine di ridurre i costi di produzione e garantire una maggiore disponibilità di SAF.

Secondo le previsioni del World Economic Forum e di ING, ad oggi la produzione di carburante sintetico (PtL) presenta un range di costi molto più ampio rispetto al metodo HEFA, con costi che possono variare da circa 2 a circa 9 volte il costo del carburante per jet tradizionale (Figura 50). Tuttavia, si prevede che entro il 2050 si verificherà un’inversione di tendenza, con il PtL che potrebbe diventare più conveniente dell’HEFA, grazie al miglioramento tecnologico e alle economie di scala.

5.3.2 Costi di produzione all'interno della catena del valore (HEFA vs PtL)

Lo studio di Strategy& PwC “From feedstock to flight. How to unlock the potential of SAF” [191] offre una panoramica dettagliata dei processi produttivi HEFA e Power-to-Liquid, messi a confronto in termini di “*punti di forza, debolezze e strutture di costo*”.

a) HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)

I dati presentati nel documento attestano che l'utilizzo della tecnologia HEFA consente una riduzione delle emissioni di carbonio stimata tra il 74% e l'84% rispetto all'utilizzo dei carburanti fossili tradizionali. Il carburante ottenuto tramite questo procedimento, inoltre, “*può essere miscelato fino al 50% con il cherosene fossile senza alcuna modifica né all'aeromobile né all'infrastruttura*”.

La maturità tecnologica del processo HEFA fa sì che “*il fattore di costo maggiore sia rappresentato dalla materia prima, a causa dalla disponibilità limitata*”, e che eventuali ulteriori “*investimenti potrebbero essere necessari per la configurazione degli impianti destinati al pretrattamento e all'idrotrattamento*”.

La Figura 51 riporta la catena del valore del processo HEFA, composta da quattro fasi:

1. **Fornitura di input:** oli vegetali esausti, grassi animali, idrogeno rinnovabile, energia rinnovabile;
2. **Pretrattamento:** pressatura, de-gumming, sbiancamento, deodorizzazione;
3. **Idrotrattamento:** idro-ossigenazione, hydro-cracking e idroisomerizzazione per produrre catene di idrocarburi a basso contenuto di O₂ della lunghezza richiesta;
4. **Raffinazione:** separazione delle frazioni (cherosene, diesel, nafta, light diesel).

In corrispondenza di ciascuna fase sono presenti informazioni relative al livello di prontezza tecnologica (TRL⁴²), alla quota di costo che quella particolare fase necessita rispetto al costo totale di produzione, e ad alcune caratteristiche specifiche di ogni passaggio.

⁴² “I livelli di prontezza tecnologica (TRL, Technology Readiness Levels) sono un tipo di sistema di misurazione utilizzato per valutare il livello di maturità di una particolare tecnologia. Ogni progetto tecnologico viene valutato in base ai parametri di ciascun livello di tecnologia e viene quindi assegnato un punteggio TRL in base al progresso del progetto. Ci sono nove livelli di prontezza tecnologica. Il TRL 1 è il più basso e il TRL 9 è il più alto.” [201]

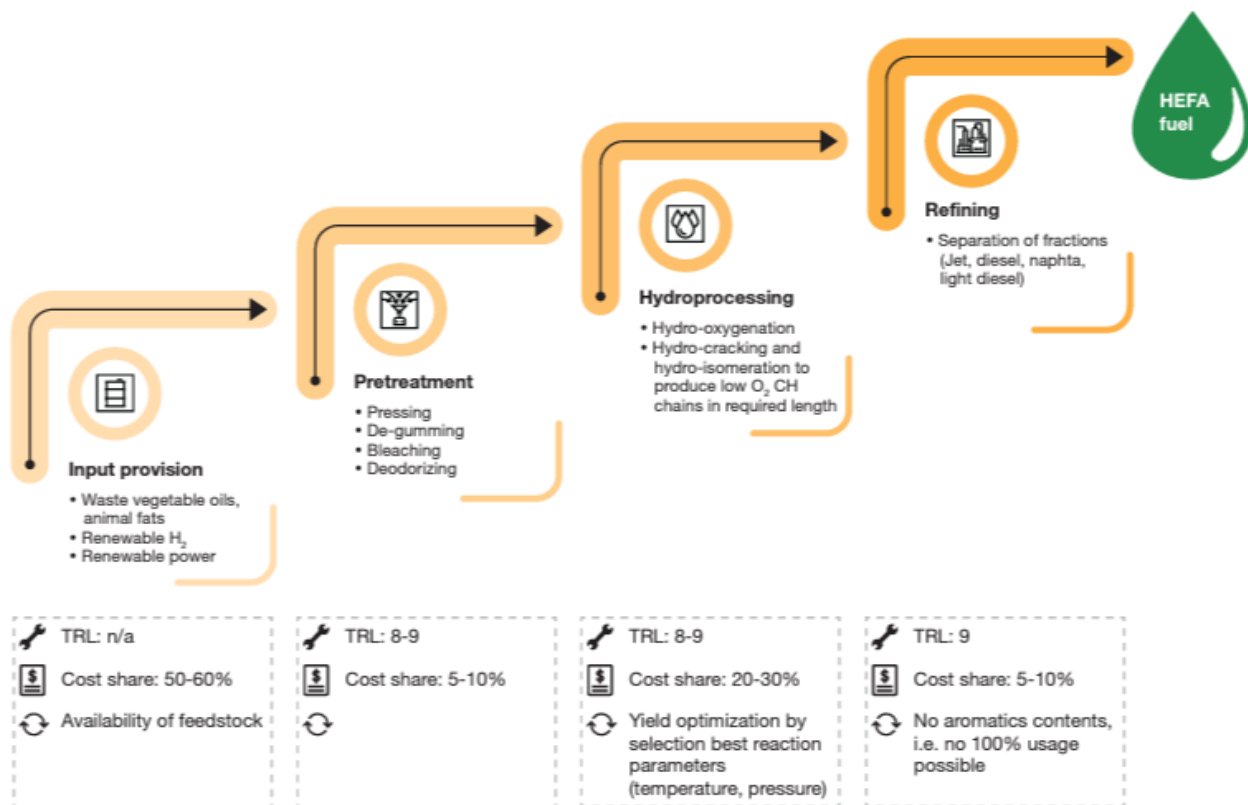


Figura 51 - Catena del valore del processo HEFA e distribuzione dei costi associati

.Fonte Strategy& analysis

Un'analisi dei costi associati a ciascuna di queste fasi evidenzia come ognuna contribuisca in modo differente al costo complessivo del processo, fornendo una panoramica chiara delle implicazioni economiche di ciascun passaggio.

La fase di approvvigionamento delle materie prime è di gran lunga la più costosa, rappresentando tra il 50% e il 60% del costo totale. Questo elevato costo è dovuto principalmente alla necessità di garantire una fornitura costante e sufficiente di materie prime come oli vegetali di scarto, grassi animali, idrogeno rinnovabile ed energia rinnovabile.

Il pretrattamento contribuisce in misura relativamente minore ai costi totali, con una quota compresa tra il 5% e il 10%. Questa fase è essenziale per preparare le materie prime per l'idrotrattamento successivo, ma le spese associate sono relativamente basse rispetto all'approvvigionamento. I costi in questa fase sono principalmente legati all'energia e alle attrezzature necessarie per le operazioni di pulizia e preparazione.

Successivamente, l'idrotrattamento rappresenta tra il 20% e il 30% del costo totale. La complessità delle reazioni chimiche coinvolte rende questa fase particolarmente costosa.

Infine, la fase di raffinazione contribuisce tra 5% e il 10% del costo totale. Anche se i costi di raffinazione sono relativamente bassi, l'efficienza di questa fase è fondamentale per garantire che il prodotto finale rispetti gli standard di qualità richiesti, senza contenuti aromatici e con una resa ottimizzata.

Dunque, da questi dati emerge l'importanza della gestione efficace delle operazioni di fornitura delle materie prime impiegate nel processo. L'incertezza legata alla disponibilità e ai prezzi dei feedstock può essere altamente variabile, influenzando significativamente il costo complessivo del processo.

In ultimo, per quanto riguarda l'analisi dei Technology Readiness Levels (TRL), tutti gli step di lavorazione presentano valutazioni molto elevate (8-9), indice la notevole maturità raggiunta dalla tecnologia HEFA nel corso degli anni.

b) PtL (Power-to-Liquid)

Come analizzato nel Capitolo 1, il Power-to-Liquid è una tecnologia che consente di convertire l'idrogeno verde – ottenuto tramite elettrolisi – e la CO₂ - proveniente da fonti di carbonio sostenibili – *“in carburante per jet e altri prodotti idrocarburici, sia tramite sintesi Fischer-Tropsch (FT) che tramite sintesi del metanolo”* [191].

Nonostante il PtL, confrontato con l'HEFA, offra maggiori vantaggi in termini di riduzione delle emissioni (tra l'89% e il 94% in meno rispetto ai carburanti fossili tradizionali) (Strategy& PwC), questa tecnologia si trova *“ancora nelle fasi iniziali di sviluppo e si confronta con una serie di sfide legate alla produzione su larga scala”*.

Inoltre, mentre la tecnologia HEFA utilizza materie prime limitate, il PtL consente di produrre carburante a partire da idrogeno, carbonio ed energia rinnovabile. Tuttavia, queste risorse, teoricamente illimitate, sono soggette alla forte concorrenza da parte di altri settori. In aggiunta *“le normative ambientali dell'UE [RED III], in particolare per quanto riguarda la produzione di idrogeno e le fonti di CO₂ consentite, sono attualmente piuttosto rigide”* (Strategy& PwC).

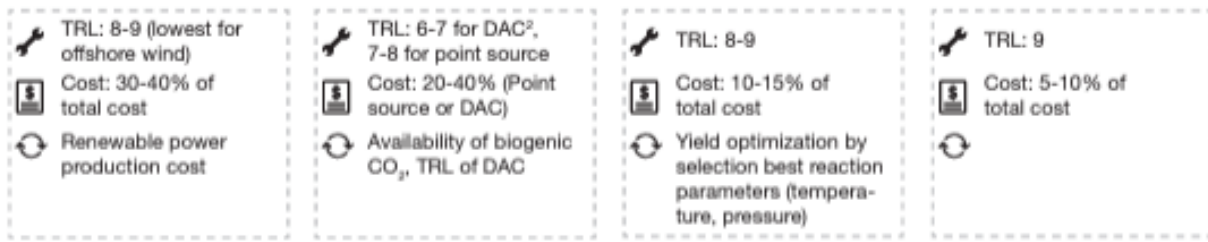
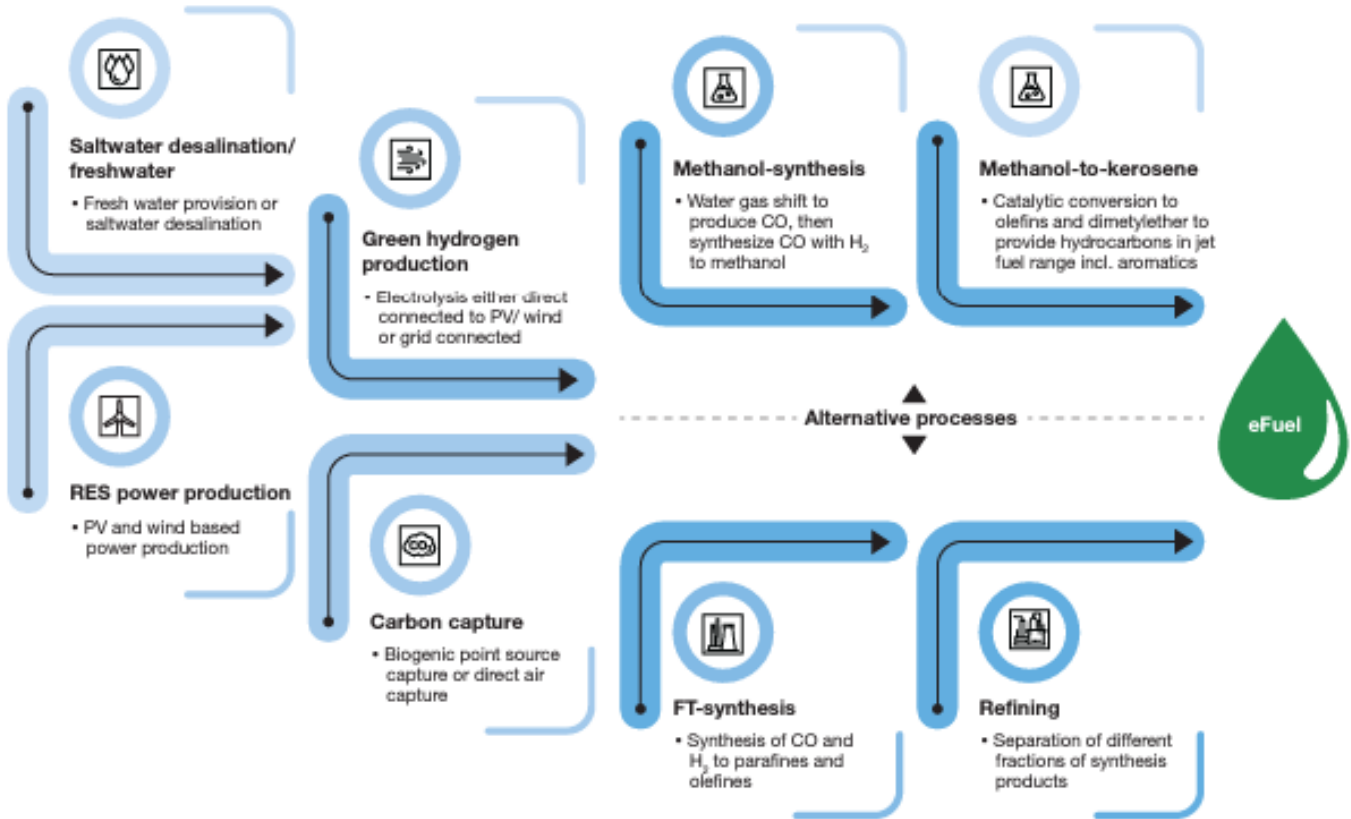
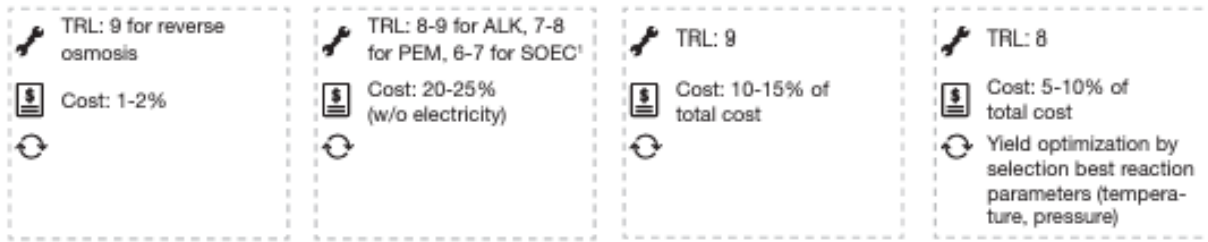
La Figura 52 presenta la catena del valore del processo di produzione di carburante tramite il processo PtL, che prende il nome di eFuel.

Effettuando un'analisi economica dei singoli processi produttivi, fino all'ottenimento dell'eFuel, emerge una significativa variazione nei costi associati alle diverse fasi. In particolare, le prime fasi produttive, come la produzione di idrogeno verde e la cattura diretta di anidride carbonica, risultano essere tra le più onerose. La produzione di idrogeno verde, che si ottiene attraverso l'elettrolisi, rappresenta il 20-25% del costo totale. Questo processo è fondamentale, poiché fornisce l'idrogeno necessario per le fasi successive della produzione di eFuels, ma richiede una quantità significativa di energia rinnovabile, contribuendo così in modo sostanziale al costo complessivo.

Allo stesso modo, anche la cattura del carbonio, sia essa eseguita tramite la cattura diretta dall'aria (Direct Air Capture - DAC) o da fonti biogeniche puntuali, costituisce un altro elemento essenziale e costoso del processo. Questo metodo rappresenta il 20-40% del costo totale, variando a seconda della tecnologia impiegata. La cattura diretta del carbonio contribuisce a ridurre in misura importante le emissioni di CO₂ complessive connesse agli eFuels, ma il suo alto costo riflette le sfide tecniche e energetiche associate.

In contrasto, le ultime fasi di lavorazione risultano relativamente meno costose. La sintesi del metanolo, infatti, incide per il 10-15% sul costo totale. Alternativamente, la sintesi Fischer-Tropsch (FT) ha un costo comparabile, anch'esso compreso tra il 10 e il 15% del costo totale. Questi processi intermedi consentono di preparare le risorse catturate e prodotte nelle prime fasi, rendendole idonee alla trasformazione finale in eFuels.

L'ultima fase del processo comprende la conversione del metanolo in cherosene, tramite processi catalitici, oppure la fase di raffinazione successiva alla sintesi FT, e presenta un costo relativamente basso, rappresentando solo il 5-10% del costo totale.



¹ SOEC = Solid oxide electrolyzer cell
² DAC = Direct air capture

Figura 52 - Catena del valore del processo PtL e distribuzione dei costi associati.

Fonte: Strategy& analysis

La situazione appena analizzata riflette l'elevato fabbisogno energetico e le complessità tecniche delle fasi iniziali, che sono fondamentali per ottenere le materie prime necessarie per la produzione di eFuels. Le fasi finali, sebbene cruciali per la trasformazione e la purificazione del prodotto finale, risultano meno onerose, contribuendo a una minore porzione del costo complessivo.

Successivamente, esaminando i valori di TRL delle singole fasi del processo, emerge che la tecnologia del PtL si trova ancora in uno stadio di sviluppo. Pertanto, *“per conferire al PtL una competitività futura, sarà indispensabile un considerevole impegno finanziario lungo l'intera catena del valore, con particolare attenzione allo sviluppo di tecnologie correlate ai feedstock (specialmente quelle correlate alla Cattura Diretta [del carbonio] dell'Aria (DAC)), al fine di renderne la produzione più flessibile ed efficiente”* (Strategy& PwC).

5.3.3 Confronto dei prezzi tra carburante per l'aviazione sostenibile e fossile

Quanto esaminato finora contribuisce a fornire una spiegazione per le attuali disparità di prezzo osservate tra il carburante sostenibile per l'aviazione SAF e il carburante per jet convenzionale.

La Figura 53, pubblicata da Reuters nell'articolo “U.S. sustainable aviation fuel production target faces cost, margin challenges” [202] presenta un resoconto storico dei prezzi di SAF e Jet Fuel nel periodo compreso tra novembre 2022 e novembre 2023. All'interno del grafico, costruito con dati di Argus Media e costruito da Sourasis Base, i prezzi dei carburanti sono espressi in centesimi di dollaro per gallone (U.S. cents per gallon).



Figura 53 - Andamento prezzi di SAF e Jet fuel, Nov 2022-Nov 2023 (in centesimi di dollari per gallone).

Fonte: Reuters Graphics.

Dati di Argus Media | Grafico di Sourasis Bose.

Nel corso dell'anno preso in considerazione, il carburante per jet tradizionale ha mantenuto un prezzo relativamente costante di circa 3 dollari per gallone, mentre il prezzo del carburante sostenibile per l'aviazione ha mostrato significative fluttuazioni, con una media di circa 8 dollari per gallone.

Inoltre, al 1° novembre 2023, il prezzo del carburante per jet si attestava intorno ai 2,85 dollari per gallone, mentre quello del SAF era di circa 6,69 dollari per gallone.

Per una migliore comprensione, convertendo tali prezzi in tonnellate metriche, il carburante per jet era valutato a circa 603 dollari per tonnellata metrica, mentre il SAF raggiungeva i 2210 dollari per tonnellata metrica⁴³.

Ciò implica che, in un periodo in cui sia i prezzi del SAF che quelli del Jet Fuel si trovavano in una fase di ribasso (Figura 53), il costo del carburante sostenibile era superiore a quello del carburante fossile di circa il 267% .

L'analisi pregressa della domanda e dell'offerta di SAF all'interno del mercato contribuisce a una migliore comprensione delle motivazioni alla base di una differenza di prezzo così significativa.

All'interno del mercato dei SAF, nello specifico, si è studiato come la domanda di SAF presenti una crescita significativa nel futuro a medio-lungo termine, principalmente a causa delle crescenti pressioni normative e ambientali. D'altro canto, i produttori e i fornitori di SAF, che costituiscono l'offerta del bene nel mercato, devono affrontare sfide considerevoli nel tentativo di soddisfare e, possibilmente, eguagliare la domanda, specialmente nel lungo periodo. Queste sfide includono l'affrontare costi considerevoli per migliorare l'efficienza delle tecnologie produttive esistenti, finanziare lo sviluppo di nuovi metodi produttivi e costruire da zero nuovi impianti. Tali fattori, insieme alla volatilità dei prezzi delle materie prime, rappresentano fonti significative di costi per il settore.

Proprio per questi fattori, è plausibile che i prezzi dei SAF rimarranno più elevati rispetto a quelli dei carburanti fossili ancora per un periodo prolungato, almeno fin quando non verranno implementate soluzioni volte a ridurre i costi lungo l'intera catena produttiva.

Come segnalato dal report “10% Sustainable Aviation Fuel by 2030”, pubblicato da WEF-CST [204], il settore si trova ad affrontare un problema notevole: *“attualmente, l'ostacolo principale che impedisce alla produzione e all'utilizzo del SAF di decollare è rappresentato dal divario di prezzo tra il carburante per jet derivato dai combustibili fossili e il SAF, il quale rimane eccessivamente ampio. La catena di approvvigionamento di SAF si trova ad affrontare un dilemma in relazione all'offerta e alla domanda: i costi si ridurranno se la produzione aumenterà (grazie agli effetti della curva di apprendimento e alle economie di scala). Tuttavia, i fornitori di carburante non dispongono di un segnale sufficientemente forte dal lato della domanda per incrementare la produzione, e la domanda stessa è scarsa a causa del premio di prezzo elevato. Inoltre, l'incertezza in materia di politica scoraggia gli investimenti, così come l'elevato livello di rischio associato alle nuove tecnologie”*.

Di conseguenza, è imperativo sviluppare una serie di strategie volte a stimolare sia la domanda che l'offerta di SAF, promuovendo così una graduale sostituzione dei carburanti fossili convenzionali con quelli sostenibili.

⁴³Le conversioni sono state effettuate assumendo una densità media del carburante per jet di 0,80 kg/L. [203]

5.4 PRINCIPALI ATTORI DEL MERCATO

Questa sezione del documento si propone di esaminare gli attori principali nell'industria dei Sustainable Aviation Fuel. Precedentemente, sono stati analizzati elementi di mercato quali la domanda, l'offerta e i costi di produzione che delincono i prezzi e il quadro economico generale dei SAF. Tuttavia, è interessante approfondire l'analisi, concentrandosi su una panoramica dei principali produttori di carburante sostenibile, quali Neste, Shell, Total Energies e Gevo. Tale approfondimento mira a una comprensione più dettagliata del ruolo che tali attori svolgono nella promozione della sostenibilità nel settore dell'aviazione.

5.4.1 Neste Oyj

Neste Oyj, con sede in Finlandia, è un'azienda leader nel settore dell'energia rinnovabile. In linea con lo scopo di *“creare un pianeta più sano”* [205], negli ultimi dieci anni si è resa protagonista di una trasformazione significativa, passando da una società locale di raffinazione del petrolio a leader globale nelle soluzioni rinnovabili e circolari. Pertanto, grazie a questo cambiamento radicale, la Neste è ampiamente riconosciuta come un'azienda pioniera nella produzione di carburante rinnovabile di elevata qualità [206].

Tali intenzioni guidano la Neste verso la costante *“ricerca di nuovi metodi per ridurre le emissioni di carbonio e per sviluppare soluzioni che promuovano l'economia circolare, garantendo un riutilizzo efficace delle risorse di carbonio”*.

La società combina scienza e tecnologia innovative per trasformare rifiuti e altre risorse in carburanti rinnovabili e materiali grezzi circolari. Tale approccio strategico consente agli stakeholder di perseguire attivamente gli obiettivi di sostenibilità.

In linea con la sua visione di *“guidare il cammino verso un futuro sostenibile insieme”*, la Neste promuove la collaborazione e la partecipazione attiva allo sviluppo di un mondo più sostenibile. L'azienda, infatti, ha istituito un vasto network di relazioni, dialogo e partnership con numerose associazioni, organizzazioni non governative (ONG) e stakeholder. Inoltre, ha stretto collaborazioni significative con istituti accademici e centri di ricerca.

Attualmente, l'azienda ha identificato tre principali obiettivi strategici per i prossimi anni [207]:

- *“Ridurre ogni anno le emissioni di gas serra dei clienti di almeno 20 milioni di tonnellate equivalenti di CO₂ (CO₂e)⁴⁴ entro il 2030”*.
- *“Raggiungere la produzione a emissioni zero di carbonio entro il 2035”*.
- *“Ridurre l'intensità delle emissioni nella fase di utilizzo dei prodotti venduti del 50% entro il 2040, rispetto ai livelli del 2020”*.

Come testimonianza dell'efficacia delle iniziative adottate finora, l'azienda ha annunciato di aver contribuito con successo a una significativa riduzione delle emissioni di gas serra, pari a quasi 50 milioni di tonnellate, per conto dei propri clienti. Dal punto di vista economico, secondo i dati ufficiali

⁴⁴ *“Carbon dioxide equivalent o CO₂e indica il numero di tonnellate metriche di emissioni di CO₂ con lo stesso potenziale di riscaldamento globale di una tonnellata metrica di un altro gas serra.”* [208]

forniti da Neste, nel 2023 il fatturato aziendale ha raggiunto i 22.9 miliardi di dollari, impiegando in media oltre 6.000 dipendenti.

Neste, inoltre *“dimostra una solida prospettiva globale, con mercati chiave in Europa e Nord America, produzioni attive in tre continenti e altre operazioni in 16 paesi nel mondo”*. Le sue raffinerie, presenti in Finlandia, Olanda, Singapore e California, sono in grado di produrre annualmente circa 5.5 milioni di tonnellate di prodotti, generati a partire interamente da materie prime rinnovabili.

Tra i principali prodotti dell'azienda sono presenti il Neste MY Renewable Diesel™ (HVO100) e il Neste MY Sustainable Aviation Fuel™.

Il primo è un diesel rinnovabile con una composizione chimica simile al diesel fossile, in grado di sostituirlo direttamente come carburante drop-in. Questo carburante, ottenuto al 100% da materie prime rinnovabili, *“può portare a una riduzione delle emissioni di gas serra (GHG o CO₂e) fino al 75-95% durante il ciclo di vita del carburante, rispetto al diesel fossile”* [209].

Il secondo prodotto rappresenta un sostituto diretto del combustibile fossile per jet. Come riportato dall'azienda, *“Neste produce carburante per l'aviazione sostenibile (SAF) utilizzando la sua tecnologia proprietaria NEXBTL™, che consente l'impiego di quasi tutti i grassi di scarto o oli vegetali per produrre SAF e altri prodotti rinnovabili. Si basa sulla tecnologia HEFA, attualmente la tecnologia più consolidata e vantaggiosa dal punto di vista economico per produrre SAF”*. Attualmente, dunque, il Neste MY Sustainable Aviation Fuel™ viene prodotto a partire esclusivamente da olio da cucina usato e scarti di grassi, ed è anch'esso un carburante drop-in, miscelabile con il carburante fossile tradizionale utilizzato dagli aeromobili esistenti.

Oltre ai prodotti menzionati, l'azienda offre una vasta gamma di soluzioni, comprese plastiche rinnovabili e riciclate (Neste RE⁴⁵) e carburanti marini a basse emissioni di carbonio (Neste Marine™ 0.1 Co-processed⁴⁶).

Inoltre, l'azienda investe notevolmente nell'innovazione continua, che spazia dallo sviluppo di nuove tecnologie alla creazione di nuovi prodotti. Un esempio tangibile di questo impegno è la ricerca di nuovi percorsi per la produzione di SAF, concentrandosi in particolare su *“materie prime e tecnologie promettenti che ne consentono l'utilizzo”*, come *“materiali grezzi lignocellulosici, rifiuti solidi urbani, alghe e Power-to-Liquids (o 'e-fuels')”*.

⁴⁵ *“Neste RE è una materia prima impiegata per la produzione di plastica, in grado di sostituire le materie prime fossili.”* [210]

⁴⁶ *“Una soluzione a basse emissioni per il settore marittimo, comprese le compagnie di navigazione, i proprietari di carichi e i noleggiatori.”* [211]

5.4.2 Gevo

Fondata nel 2005 e con sede a Englewood, Colorado, Gevo, Inc. è un'azienda statunitense leader nella produzione di combustibili avanzati e sostenibili, impegnata nella riduzione delle emissioni di gas serra e nella transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

L'azienda identifica il proprio core business nella trasformazione di *“energia rinnovabile e carbonio in idrocarburi liquidi avanzati ad alta densità energetica”* [212], e opera in tre segmenti:

- Gevo, che *“si concentra sulle attività di ricerca e sviluppo relative alla produzione di SAF, sulle opportunità commerciali per altri prodotti a base di idrocarburi rinnovabili, come il gas naturale rinnovabile, gli idrocarburi per le miscele di benzina e il carburante diesel, e su materie plastiche, materiali e altri prodotti chimici. Il segmento Gevo sviluppa, mantiene e protegge anche il suo portafoglio di proprietà intellettuale, fornisce servizi di supervisione aziendale ed è responsabile dello sviluppo e della costruzione dei suoi Progetti Net-Zero.”* [213]
- Agri-Energy, che si occupa della gestione dell'impianto produttivo di Luverne, in Minnesota, per la produzione di isobutanolo, etanolo e altri prodotti collegati. [214]
- Gas Naturale Rinnovabile (Renewable Natural Gas – RNG), per la produzione di gas metano ottenuto attraverso il trattamento dal letame proveniente dalle fattorie lattiero-casearie. Questo processo consente di catturare il gas metano, altrimenti destinato a essere rilasciato nell'atmosfera, e di trasformarlo in una preziosa risorsa energetica rinnovabile. [215]

Secondo i dati forniti da Trading View [216], nel 2023 Gevo, Inc. ha riportato un fatturato pari a 17.2 milioni di dollari. In particolare, il segmento Renewable Natural Gas ha contribuito maggiormente con 15.46 milioni di dollari, mentre i restanti 1.74 milioni di dollari sono attribuibili al segmento Gevo. Attualmente, l'azienda conta 103 dipendenti.

Tra i vari prodotti sviluppati dall'azienda, il carburante sostenibile per l'aviazione riveste un ruolo di particolare importanza. Ottenuto a partire dall' *“amido residuo non commestibile proveniente da mais da campo”*, tramite il processo Alcohol-to-Jet, Gevo produce cherosene sintetico (Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene - ATJ-SPK). Questo cherosene è in grado di sostituire integralmente il combustibile fossile tradizionale ed è conforme agli standard ASTM D1655 e D7566, i quali attestano la capacità del carburante di essere mescolato al 50% con il combustibile fossile. Tuttavia, l'azienda afferma di aver condotto con successo test con aeromobili alimentati al 100% da SAF [217].

In aggiunta, Gevo si impegna a rispettare il principio del "Food First". I suoi processi produttivi sono concepiti per *“estrarre nutrimento da ogni acro di terra, utilizzando solo gli amidi residui come materia prima per la produzione di carburante”* [212]. Questo approccio implica che ogni potenziale fonte di valore nutrizionale sia destinata ai mercati del bestiame, dell'acquacoltura e degli alimenti per animali domestici.

5.4.3 Shell Global

Shell Global è una delle maggiori multinazionali attive nel settore dell'energia, dell'industria petrolifera e della petrolchimica. Fondata nel 1907 nei Paesi Bassi con il nome di Royal Dutch Shell plc, nel 2022 il nome della società è stato modificato in Shell plc e la sede è stata trasferita a Londra. Attualmente, l'azienda opera in oltre 140 paesi, con gli Stati Uniti che costituiscono il suo principale mercato [218].

Come evidenziato all'interno dei Report Annuali, il gruppo suddivide le sue aree di business in sei segmenti [219]:

- 1. Integrated Gas Segment.** Include la produzione di gas naturale liquefatto (Liquefied Natural Gas - LNG), la conversione del gas naturale in combustibili (Gas-to-Liquids - GTL) e altri prodotti liquidi. Questo segmento gestisce l'esplorazione e l'estrazione di gas naturale e di liquidi, oltre all'infrastruttura necessaria per consegnarli al mercato. Include anche il marketing, il trading e l'ottimizzazione del LNG, compreso il suo utilizzo come carburante per veicoli pesanti.
- 2. Upstream Segment.** Coinvolge l'esplorazione e l'estrazione di petrolio greggio, gas naturale e liquidi. Include anche il marketing e il trasporto di petrolio e gas, oltre all'infrastruttura necessaria per la loro consegna al mercato.
- 3. Marketing Segment.** Comprende i business relativi a Mobilità, Lubrificanti e Settori & Decarbonizzazione (Mobility, Lubricants, and Sectors & Decarbonisation). La Mobilità gestisce la rete di stazioni di servizio Shell, incluso il servizio di ricarica per veicoli elettrici. Il settore dei Lubrificanti produce, commercializza e vende lubrificanti per il trasporto su strada e per macchinari impiegati in vari settori. L'area Settori & Decarbonizzazione fornisce combustibili, prodotti specializzati e servizi, incluse soluzioni energetiche a basso impatto ambientale, a una vasta gamma di clienti commerciali.
- 4. Chemicals and Products Segment.** Include impianti di produzione chimica e raffinerie, che trasformano il petrolio greggio e altre materie prime in una gamma di prodotti petroliferi per uso domestico, industriale e di trasporto. Questo segmento gestisce anche attività di pipeline, trading e ottimizzazione di petrolio, prodotti petroliferi e petrochimici.
- 5. Renewables and Energy Solutions Segment.** Riguarda la generazione di energia rinnovabile, il marketing e il trading di energia e gas naturale, nonché la gestione di crediti di carbonio e soluzioni digitali per i clienti. Include inoltre la produzione e il marketing di idrogeno, lo sviluppo di hub commerciali per la cattura e lo stoccaggio di carbonio, gli investimenti in progetti basati sulla natura per evitare o ridurre le emissioni di carbonio e Shell Ventures, che investe in aziende che lavorano per accelerare la trasformazione energetica e della mobilità.
- 6. Corporate Segment.** Si occupa della gestione delle attività non operative che supportano Shell, tra cui le partecipazioni e l'organizzazione del tesoro, le attività di autoassicurazione e le funzioni centrali e della sede. Tutti gli oneri e i proventi finanziari e le imposte correlate sono inclusi negli utili del Corporate Segment anziché negli utili dei segmenti di business.

La decisione di suddividere le varie aree di business in diversi segmenti rappresenta un metodo strategico per offrire una visione chiara e dettagliata delle performance e delle attività di ciascuna area. Questo approccio accresce la trasparenza e facilita un'allocazione ottimale delle risorse all'interno dell'azienda, consentendo una migliore gestione e un monitoraggio più efficace dei risultati aziendali.

Shell ha adottato una strategia mirata a *“generare maggior valore per azionisti, clienti e società nel suo complesso”*, lavorando allo stesso tempo per *“diventare un'azienda energetica a emissioni nette zero entro il 2050”*. Come dichiarato dalla società, le fondamenta alla base dell'implementazione della strategia sono rappresentate dalla volontà di *“fornire soluzioni energetiche più pulite e sostenibili”* [220].

Secondo i dati di Yahoo!Finance, nel 2023 Shell Global ha registrato un fatturato di oltre 316 miliardi di dollari, e, nel corso dell'anno, il numero di dipendenti è stato di 103.000 [221].

Nel contesto dei SAF, Shell Aviation sta attivamente lavorando per favorire l'adozione dei carburanti sostenibili nel settore dell'aviazione, contribuendo così al raggiungimento degli obiettivi di riduzione e compensazione delle emissioni di carbonio stabiliti dall'International Civil Aviation Organization (ICAO) (*“net-zero carbon 2050”* per l'industria dell'aviazione). Le iniziative di Shell si concentrano principalmente sulla fornitura sicura e trasparente di SAF ai clienti, sugli investimenti nella produzione di carburante sostenibile e nello sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche. Inoltre, l'azienda si impegna nel monitoraggio e nel controllo della regolarità di *“tutti gli elementi della catena di approvvigionamento - dalle materie prime sostenibili alle strutture di miscelazione”* [222].

Nel corso degli ultimi anni, Shell ha intensificato gli investimenti nella *“produzione di carburanti sostenibili per l'aviazione”*, accelerando *“l'utilizzo di una serie di diverse tecnologie per creare molecole di SAF”*. Tra le operazioni maggiormente significative vi è l'acquisizione di EcoOils, *“un'azienda innovativa che ricicla oli esausti in materia prima utilizzabile nel processo HEFA”*, e l'investimento in LanzaJet, *“una delle aziende leader nella tecnologia dei carburanti sostenibili e nella produzione di carburanti sostenibili”*. Quest'ultima mossa strategica consentirà a Shell di *“concedere in sublicenza la tecnologia Alcohol-to-Jet (AtJ) e di effettuare ulteriori investimenti nella costruzione di impianti di produzione su più ampia scala nei prossimi anni”*.

Grazie a questa serie di investimenti e collaborazioni con importanti operatori del settore, Shell è stata in grado di fornire carburanti sostenibili nei mercati del Nord America, Europa e dell'Asia-Pacifico, mentre continua a lavorare per raggiungere economie di scala *“utilizzando una molteplicità di materie prime e di processi produttivi”*.

Infine, Shell ha intrapreso un impegno significativo nell'affrontare la sfida della produzione di cherosene sintetico, ottenuto da fonti come l'idrogeno verde e la CO₂ catturata direttamente dall'atmosfera. Nel 2020, in risposta all'invito del Ministero dell'Infrastruttura e della Gestione delle Acque a *“produrre una quantità di cherosene sintetico sostenibile su scala superiore a quella del laboratorio, presso lo Shell Technology Centre Amsterdam”*, Shell ha conseguito un risultato storico. L'azienda è stata infatti la prima al mondo a effettuare un volo *“utilizzando cherosene sintetico certificato, derivato da idrogeno e carbonio riciclato”* [223].

5.4.4 TotalEnergies

TotalEnergies è una *“compagnia energetica integrata a livello globale che produce e commercializza energia: petrolio e biocarburanti, gas naturale e gas verdi, rinnovabili e elettricità*. Fondata in Francia nel 1924 con il nome di *Compagnie française des pétroles*, l'obiettivo iniziale dell'azienda era rendere il Paese indipendente dal punto di vista energetico.

Nel corso degli anni, TotalEnergies è diventata una delle compagnie più importanti al mondo per la produzione di petrolio e gas naturale [224], operando attualmente in oltre 130 Paesi.

Secondo i dati forniti da Yahoo!Finance [225], nel 2023 l'azienda ha registrato un fatturato di oltre 218.9 miliardi di dollari, con più di 102.000 dipendenti [226].

Il gruppo opera con lo scopo di *“fornire energia più affidabile, conveniente e sostenibile possibile al maggior numero possibile di persone”* e con l'ambizione di affermarsi, nei prossimi anni, come uno dei principali attori a livello mondiale nell'ambito della transizione energetica, raggiungendo, *“insieme alla società”*, l'obiettivo di emissioni nette zero entro il 2050.

La strategia di TotalEnergies si basa su due pilastri fondamentali: Petrolio e Gas - soprattutto LNG (Liquified Natural Gas) - e Elettricità. Da un lato, dunque, la società si impegna a ridurre le emissioni di gas serra dalle proprie operazioni, pianificando allo stesso tempo di aumentare la produzione di petrolio e gas del 2-3% all'anno per i prossimi cinque anni. Dall'altro TotalEnergies sta sviluppando un modello noto come *“Integrated Multi-Energy”*, che integra fonti rinnovabili e asset flessibili per fornire energia a basse emissioni di carbonio, coprendo *“tutta la catena del valore dell'energia prodotta e distribuita”*. Ciò aiuta a diversificare il business, consentendo di sfruttare sinergie ed opportunità di mercato, che vanno dalla condivisione di know-how con le varie divisioni dell'azienda, fino ad una maggiore resistenza verso le oscillazioni dei prezzi di mercato delle varie risorse [227].

In aggiunta, TotalEnergies sta investendo nei cosiddetti *“Natural Carbon Sinks”* (pozzi di carbonio naturali), ovvero *“progetti di forestazione, agricoltura rigenerativa e protezione delle zone umide”*. Questi ecosistemi naturali svolgono un ruolo fondamentale nel catturare il carbonio direttamente dall'atmosfera, contribuendo in modo significativo al raggiungimento degli obiettivi di riduzione e compensazione delle emissioni di gas serra [228].

Nell'ambito della strategia Multi-Energy di TotalEnergies, lo sviluppo e la produzione di Sustainable Aviation Fuel costituiscono una priorità per condurre il settore dell'aviazione verso la decarbonizzazione. TotalEnergies è coinvolta da oltre dieci anni in *“iniziative volte a promuovere la produzione e lo sviluppo di carburanti per l'aviazione sostenibili, in collaborazione con importanti attori di mercato”*. Ad esempio, alla fine di febbraio 2024, la compagnia ha stretto una collaborazione con Airbus *“per affrontare le sfide della decarbonizzazione dell'aviazione con carburanti sostenibili per l'aviazione”*. L'accordo prevede che TotalEnergies sarà il principale fornitore di SAF in Europa per Airbus, rifornendo più della metà del SAF necessario. Inoltre, le due società si impegnano a sviluppare un programma di ricerca e innovazione mirato allo sviluppo di carburante al 100% sostenibile [229].

Il SAF attualmente offerto da Total Energies viene ottenuto attraverso il processo di lavorazione HEFA, utilizzando grassi animali e oli da cucina esausti come materie prime. Questo viene successivamente mescolato con il cherosene fossile tradizionale per un massimo del 50%, in conformità con gli standards ASTM 1655/7566 e DEF STAN 91-091. Ad esso, inoltre, viene riconosciuta la certificazione ISCC-EU, confermando la sua effettiva sostenibilità e conformità ai requisiti ambientali [230].

Congiuntamente al processo HEFA, il gruppo utilizza anche il metodo del co-processing per la produzione di carburante sostenibile per l'aviazione. All'interno delle raffinerie attualmente in funzione, l'azienda prevede di integrare feedstock derivanti da biomassa insieme alle materie prime fossili. Anche in questo caso, *“il risultato è un carburante sostenibile per l'aviazione”* [231].

5.5 BARRIERE E STRATEGIE DI MERCATO

Il segmento relativo alle barriere e alle strategie di mercato nei settori dei carburanti sostenibili per l'aviazione (SAF) richiede un'analisi attenta e dettagliata, evidenziando le sfide e le opportunità intrinseche.

È emerso con chiarezza che il mercato dei SAF necessita di sostanziali stimoli per crescere. Sebbene vi sia un impulso normativo sempre più forte per la sostituzione graduale dei carburanti fossili con quelli sostenibili, l'analisi di mercato evidenzia importanti barriere da superare sul fronte dell'offerta.

Un esempio significativo è fornito dal rapporto "From feedstock to flight. How to unlock the potential of SAF" pubblicato da Strategy& PwC, a seguito di un confronto diretto con attori chiave del settore come Neste e Spark e-Fuels. Questo studio ha individuato alcune criticità fondamentali da risolvere per consentire la produzione su larga scala di SAF, aprendo così le porte a un mercato più ampio.

Le barriere identificate includono la necessità di politiche normative solide, l'espansione del bacino risorse rinnovabili e la promozione della consapevolezza sui benefici dei SAF.

Come precedentemente analizzato, i quadri normativi a livello internazionale e locale stanno delineando obiettivi di produzione di biocarburanti a lungo termine. Questo scenario ha il potenziale di alimentare le previsioni della domanda di carburanti sostenibili nei prossimi anni. Tuttavia, l'imposizione di obiettivi ambiziosi non garantisce necessariamente che gli attori del mercato siano in grado di adattarsi, soprattutto considerando le significative differenze di prezzo tra i carburanti fossili e i SAF. Pertanto, diventa imperativo che i governi e le organizzazioni sviluppino sistemi di incentivi mirati, volti a promuovere e sostenere la produzione e l'adozione progressiva di tali carburanti.

Un esempio tangibile di questo approccio è rappresentato dalle iniziative della SEA, società di gestione degli aeroporti di Milano. Già nel 2021, la SEA aveva siglato un accordo con Eni per la fornitura di biocarburanti destinati all'aviazione, confermando poi, due anni più tardi nel 2023, *“un contributo pari a 500 euro per tonnellata di SAF “puro” acquistato dalle compagnie ed effettivamente erogato, negli aeroporti di Linate e Malpensa, per coprire parte dell'extracosto che ancora caratterizza i SAF”* [232]. In vista dell'entrata in vigore del Regolamento 2023/2405 "ReFuelEU" nel 2025, che impone la miscelazione di almeno il 2% di SAF nei carburanti fossili tradizionali, la SEA ha incrementato ulteriormente i suoi contributi agli operatori. Nel dettaglio, il contributo unitario è stato alzato a 800 euro per tonnellata di SAF utilizzato, portando il fondo totale a una cifra di 500.000 euro.

Questa strategia, come riportato dall'articolo di Malpensa 24, "Malpensa, confermati gli incentivi per le compagnie che utilizzano i biocarburanti", rappresenta un significativo passo avanti nella promozione e definizione di incentivi per l'utilizzo dei SAF. Tuttavia, emerge che, al termine del 2023, *“solo altri quattro gestori aeroportuali europei hanno avviato programmi simili”*, evidenziando la relativa novità di tali iniziative nel panorama aeroportuale europeo.

Negli Stati Uniti, l'adozione dell'*Inflation Reduction Act (IRA)* nel 2022 ha segnato un'impronta significativa nell'ambito della promozione della produzione e del consumo di SAF all'interno del Paese. Questa iniziativa, concepita per incentivare il settore, si focalizza sull'agevolazione fiscale attraverso il riconoscimento di crediti sulle imposte.

Come indicato dall'*Internal Revenue Service (IRS)*⁴⁷, tale credito fiscale è applicabile a determinate miscele di carburanti contenenti SAF vendute o utilizzate in un periodo compreso tra il 31 dicembre 2022 e il 1° gennaio 2025. In particolare, *“l'importo del credito SAF è fissato a \$1,25 per ogni gallone di SAF presente in una miscela qualificata”*.

Tuttavia, affinché il SAF risulti idoneo ad ottenere il credito, è necessario che esso garantisca una *“riduzione minima del 50% delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita”*. In aggiunta, è rilevante notare la presenza di un'ulteriore *“credito supplementare di un centesimo per ogni punto percentuale in cui la riduzione supera il 50%”* [234].

Questa politica mira non solo a promuovere l'adozione di tecnologie più pulite nel settore dell'aviazione, ma anche a premiare e incentivare gli sforzi volti a ridurre l'impatto ambientale complessivo dei trasporti aerei.

Tuttavia, dal confronto di Strategy& PwC con Neste emerge che, sebbene tutti gli operatori del settore *“dovranno adattarsi ai relativi quadri normativi locali, l'aviazione è un'industria globale, quindi una convergenza di livelli di ambizione e tipi di supporto politico garantirà un campo di gioco competitivo a livello mondiale per le compagnie aeree”*. È proprio in questo contesto che assume particolare rilevanza il ruolo delle organizzazioni internazionali, come l'ICAO, le quali sono incaricate di *“garantire che gli accordi internazionali stabiliscano la direzione, i quadri politici e gli standard per l'industria dell'aviazione globale”* al fine assicurare un adattamento di obiettivi e strategie a livello internazionale.

Un allineamento di questo tipo è necessario anche per quanto riguarda l'impiego di feedstock nella produzione di biocarburanti. Come dichiara Neste, *“la limitata disponibilità dei feedstock attualmente utilizzati per la produzione di carburanti sostenibili”* rappresenta una barriera significativa per il mercato dei SAF. Inoltre, esistono notevoli differenze di approccio tra i vari Paesi in tema di materie prime. In Europa, la normativa ReFuelEU *“limita fortemente il pool di materie prime ammissibili per il SAF, escludendo persino nuove fonti di materie prime sostenibili come i “novel vegetable oils”, che possono essere coltivati su terreni altrimenti inutilizzati e che contribuiscono a rigenerare la qualità del suolo e agire come fonte aggiuntiva di reddito per le comunità rurali”*. Al contrario, negli Stati Uniti vi è un forte supporto alla tecnologia Alcohol-to-Jet, che consente di produrre carburante sostenibile a partire dal mais.

Anche in questo caso, spetta alle istituzioni il compito di trovare il giusto compromesso sull'utilizzo delle diverse materie prime, tenendo conto della crescente domanda globale di carburante sostenibile, dell'efficacia degli attuali processi produttivi e delle problematiche legate alle varie destinazioni d'uso. L'espansione del pool di feedstock per la produzione di carburanti rappresenta un obiettivo primario. Sebbene il processo HEFA abbia raggiunto una fase di maturità tecnologica, è necessario aumentare la quantità di materiali di scarto, come oli e rifiuti, da impiegare in questo processo. Solo

⁴⁷ *“Il Servizio delle Entrate Interne (IRS) è l'agenzia fiscale per il governo federale degli Stati Uniti, responsabile della raccolta delle imposte federali statunitensi e dell'amministrazione del Codice Fiscale Interno, il principale corpo della legge fiscale federale statutaria”*. [233]

utilizzando *“l'intera gamma di materiali di scarto e residui sostenibili”* sarà possibile avvicinarsi ad una produzione di SAF su larga scala utilizzando la tecnologia HEFA.

Connesso a questa problematica, nel report di Strategy& PwC emerge la difficoltà di *“aumentare la capacità produttiva lungo l'intera catena del valore ai livelli commerciali richiesti, ovvero fino a cinque volte la capacità degli impianti attuali”*. Aumentare la capacità produttiva richiede investimenti significativi in infrastrutture per la produzione, la raccolta e la distribuzione di biocarburanti, comportando costi molto elevati. Questo fattore, insieme all'incertezza riguardo al ritorno economico per gli investitori, ostacola la crescita del settore.

Nell'ambito delle riflessioni emerse da un'intervista condotta con Spark e-Fuels, Strategy& PwC evidenzia che i sistemi di finanziamento pubblico rivestono un ruolo significativo nel gestire questa problematica. In primo luogo, tali finanziamenti possono giocare un ruolo determinante nel ridurre il rischio tecnologico, supportando progetti dimostrativi, specialmente per tecnologie ancora in fase di sviluppo preliminare, come il Power-to-Liquid (PtL). In secondo luogo, la disponibilità di risorse finanziarie da parte delle istituzioni pubbliche potrebbe agevolare la realizzazione delle prime strutture (First-Of-A-Kind, FOAKs), necessarie per intraprendere una produzione commerciale del carburante ottenuto tramite PtL.

In Europa, un esempio di sostegno finanziario pubblico è rappresentato dal fondo Horizon Europe, *“il principale programma di finanziamento dell'UE per la ricerca e l'innovazione, con una dotazione di 95,5 miliardi di euro”* [235]. Tra le sue molteplici finalità, Horizon Europe include il supporto alla ricerca e allo sviluppo di carburanti sostenibili per l'aviazione. Tuttavia, è importante notare che il budget di questo programma è allocato per diverse finalità e non è specificamente dedicato ad affrontare esclusivamente le sfide presenti nel mercato dei Sustainable Aviation Fuels.

Parallelamente al finanziamento pubblico, uno strumento fondamentale per abbattere le barriere presenti nel mercato dei SAF risiede nella realizzazione di partnership commerciali. Collaborazioni strategiche tra aziende private, governi e organizzazioni non governative consentono lo scambio di conoscenze, risorse e competenze. La condivisione di know-how *“tra fornitori di energia rinnovabile, di feedstock e di tecnologie, e aziende in possesso di complessi impianti di lavorazione attivi su scala industriale”* (Strategy& PwC) facilita notevolmente il percorso verso lo sviluppo di processi produttivi più efficienti. Ciò a sua volta riduce i costi e incrementa le quantità di SAF prodotte e disponibili sul mercato.

La formazione di partnerships commerciali, inoltre, agevola l'accesso a finanziamenti e risorse necessarie per investire in infrastrutture finalizzate a una produzione su vasta scala, promuovendo la commercializzazione e l'adozione diffusa dei carburanti per l'aviazione sostenibili.

Collaborazioni di questa natura rappresentano anche una possibile soluzione alla barriera aggiuntiva identificata da Neste, riguardante la mancanza di consapevolezza verso i carburanti sostenibili per l'aviazione. Come indicato nello studio di Strategy& PwC, *“iniziative globali, come l'IATA e l'ICAO”*, possono sfruttare la loro ampia influenza per promuovere i SAF attraverso partnership o programmi dimostrativi. Questi sforzi sono tesi a *“confermare la fattibilità e le prestazioni di tali carburanti e ad aumentare la fiducia in essi”*.

Anche i vari organismi di certificazione, precedentemente esaminati nel capitolo dedicato, contribuiscono ad incrementare la consapevolezza pubblica su questo tema di sostenibilità. Tra i principali obiettivi di tali entità, quali ISCC, RSB e 2BSvs, vi è quello di migliorare la trasparenza e la chiarezza attorno all'ambito dei carburanti sostenibili. Tale strategia è finalizzata a mitigare le

incertezze sul livello generale di accettazione dei benefici derivanti dal crescente impiego dei carburanti sostenibili per l'aviazione.

Inoltre, citando alcune collaborazioni attive, l'accordo tra Airbus e TotalEnergies, precedentemente menzionato, emerge come un esempio di particolare rilevanza. Questa partnership strategica permetterà alle due aziende di lavorare congiuntamente per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione in modo sinergico e, contemporaneamente, contribuire ad aumentare l'importanza globale dei SAF.

Un'ulteriore iniziativa degna di nota è il Fly Green Fund, un'iniziativa nata nel 2015 dalla collaborazione tra Karlstad Airport, SkyNRG and NISA (Nordic Initiative for Sustainable Aviation). L'obiettivo primario di questa organizzazione no-profit è quello di *“aumentare la domanda di carburante sostenibile per l'aviazione e stimolarne la produzione in Scandinavia”*. Attualmente, il Fly Green Fund riceve il supporto di due partner, Swedavia e SRF (Sveriges Regionala Flygplatser, “Aeroporti Regionali Svedesi”), i quali contribuiscono a sostenere parte dei costi amministrativi dell'organizzazione.

Inoltre, per quanto concerne la gestione dei fondi versati da aziende, individui e altre organizzazioni a Fly Green Fund, *“almeno il 75% viene utilizzato per acquistare carburante per l'aviazione sostenibile. Il restante 25% viene impiegato per sviluppare il mercato e sostenere iniziative che aumenteranno la domanda e l'offerta di SAF”*.

Concludendo, lo studio effettuato da Strategy& PwC ha identificato quelli che sono emersi come i *“passaggi necessari per superare le barriere del mercato dei SAF e accelerarne la crescita”*:

1. Investimenti in strutture dimostrative e progetti di sviluppo di impianti, per dimostrare la capacità della tecnologia di garantire una produzione su scala industriale.
2. Diversificazione delle materie prime impiegate, al fine di ridurre la dipendenza dalla limitata disponibilità e dalle fluttuazioni dei prezzi, ad esempio attraverso investimenti strategici in R&D.
3. Copertura del rischio finanziario per attrarre investimenti, mediante l'implementazione di collaborazioni strategiche, lo sviluppo di modelli di sovvenzione statale e la stipula di accordi di acquisto.
4. Chiarezza delle regolamentazioni per fornire certezza agli attori dell'ecosistema, attraverso la definizione di standard internazionali e l'istituzione di un regime di certificazione per i SAF.
5. Formazione dei clienti aziendali per aumentare la consapevolezza verso il settore dei SAF e attrarre nuovi investimenti, mediante impegni settoriali o campagne mirate.

CAPITOLO SESTO

CONCLUSIONI

6.1 SWOT ANALYSIS

Al fine di comprendere appieno le potenzialità e le sfide attuali e future del ruolo dei carburanti sostenibili all'interno dell'industria dell'aviazione, è opportuno effettuare una SWOT Analysis, che evidenzia i punti di forza, le debolezze, le opportunità e le minacce associate a questo settore emergente.

STRENGTHS – PUNTI DI FORZA

- **Sostenibilità ambientale.** I SAF riducono significativamente le emissioni di gas serra rispetto ai carburanti fossili, contribuendo al raggiungimento di obiettivi globali di riduzione delle emissioni.
- **Versatilità delle materie prime.** I SAF possono essere prodotti da una vasta gamma di feedstock, a partire dai rifiuti organici e scarti industriali, fino all'impiego di idrogeno verde e CO₂ catturata direttamente dall'atmosfera, riducendo la dipendenza dalle risorse fossili.
- **Supporto normativo.** Il crescente sostegno derivante dalle politiche governative e dalle regolamentazioni internazionali fornisce ai SAF incentivi significativi per un'adozione sempre più ampia nel futuro.

WEAKNESSES – PUNTI DI DEBOLEZZA

- **Costi elevati di produzione.** Tale fattore è principalmente connesso alle tecnologie avanzate necessarie per la produzione di SAF e alla capacità produttiva ancora limitata.
- **Barriere tecnologiche.** La necessità di sviluppare e implementare tecnologie avanzate per la produzione di SAF richiede ingenti investimenti in ricerca e sviluppo. Le complessità tecniche e i costi iniziali elevati possono ritardare l'adozione su larga scala, rendendo difficile la scalabilità dei processi produttivi.
- **Disponibilità limitata di materie prime.** La disponibilità di feedstock sostenibili per i SAF è limitata e soggetta a competizione con altri settori. Questa competizione può aumentare i costi delle materie prime e causare problemi di approvvigionamento, ostacolando l'espansione del settore.

OPPORTUNITIES - OPPORTUNITÀ

- **Innovazione tecnologica.** Il progresso delle tecnologie di produzione offre opportunità per ridurre i costi e aumentare l'efficienza nella produzione di SAF, favorendo e stimolando la competitività del settore.
- **Aumento della domanda.** La crescente sensibilizzazione ambientale e le politiche normative contribuiscono ad incrementare la domanda di SAF, spingendo verso una maggiore adozione

nel settore dell'aviazione dei carburanti sostenibili e contribuendo al raggiungimento dei target di riduzione delle emissioni.

- **Espansione del mercato.** L'apertura di nuovi mercati globali, specialmente in regioni con crescente sviluppo economico e aumento del traffico aereo, offre opportunità di espansione per i produttori di SAF, consentendo una maggiore penetrazione del mercato e una diversificazione delle fonti di reddito.

THREATS - MINACCE

- **Competizione dei carburanti fossili.** La persistenza dei bassi costi dei carburanti fossili rappresenta una minaccia per l'adozione diffusa dei SAF, poiché potrebbe scoraggiare gli investimenti nel settore e limitare la competitività dei carburanti sostenibili.
- **Incertezza politica.** Le variazioni nelle politiche governative, insieme a una mancanza di allineamento internazionale nel settore, possono influenzare negativamente gli investimenti nel settore dei SAF, generando incertezza sulle prospettive di crescita e sulla stabilità del mercato.
- **Rischi economici:** La volatilità economica e le fluttuazioni del mercato possono ridurre la domanda di SAF durante periodi di recessione, limitando l'accesso ai finanziamenti e ritardando l'innovazione tecnologica. I continui cambiamenti nei prezzi delle materie prime e la competizione globale per risorse possono aumentare i costi operativi e ridurre gli investimenti infrastrutturali.

6.2 OPPORTUNITÀ DI INVESTIMENTO NEL CAMPO DEI SAF

L'ambito dei carburanti sostenibili per l'aviazione presenta un'ampia gamma di opportunità di investimento, sostenute dalla crescente urgenza di affrontare il cambiamento climatico e dalla necessità di ridurre le emissioni di carbonio nel settore dell'aviazione. Gli investimenti nel campo dei SAF non solo rispondono a un'esigenza ambientale critica, ma rappresentano anche una strategia per trarre vantaggio da un mercato emergente con significativi potenziali di crescita.

Un elemento chiave riguarda le infrastrutture di produzione. Gli impianti necessari per produrre questo tipo di carburanti richiedono tecnologie avanzate e ampie capacità produttive per essere economicamente competitivi. Nonostante i costi iniziali elevati, tali investimenti sono giustificati dalla possibilità di ridurre i costi unitari di produzione attraverso economie di scala. La realizzazione di impianti su larga scala favorisce l'adozione di processi produttivi più efficienti e meno onerosi.

Anche l'ambito della ricerca e dello sviluppo (R&S) costituisce un'area di investimento rilevante. Finanziare attività di R&S nel campo dei carburanti sostenibili per l'aviazione (SAF) può condurre a innovazioni significative. L'ottimizzazione delle tecnologie consolidate, quali l'HEFA e il processo Fischer-Tropsch, unitamente allo sviluppo e al perfezionamento di tecnologie emergenti, come il Power-to-Liquid, può influenzare in modo significativo i costi di produzione. Inoltre, l'esplorazione di nuove fonti di materie prime, come le alghe e altre biomasse innovative, potrebbe risolvere le sfide legate alla disponibilità limitata di feedstock sostenibili.

Investimenti effettuati in partnership strategiche da produttori di SAF, compagnie aeree, gestori aeroportuali e fornitori di materie prime possono garantire una catena di approvvigionamento stabile e contribuiscono ad integrare i SAF nelle operazioni quotidiane degli operatori aerei. Gli accordi di fornitura a lungo termine con i produttori di SAF assicurano un flusso costante di carburanti sostenibili. Queste partnership facilitano anche l'accesso ai feedstock necessari, migliorando la stabilità delle forniture e riducendo la vulnerabilità alle fluttuazioni dei prezzi delle materie prime.

Le politiche di incentivazione governative sono fondamentali per sostenere la produzione e l'uso dei SAF, rendendo il mercato più attraente per gli investitori. I governi possono mettere a disposizione incentivi economici, come sussidi alla produzione, crediti d'imposta e regolamentazioni che obbligano l'uso di una percentuale minima di SAF nei voli commerciali. Questi incentivi possono ridurre il divario di costo tra i SAF e i carburanti convenzionali, rendendo i SAF un'opzione più competitiva per gli operatori e stimolando ulteriori investimenti nel settore.

In aggiunta, investire nel miglioramento delle infrastrutture logistiche e di distribuzione comporterebbe numerosi vantaggi in ottica di crescita del mercato dei SAF. La costruzione di una rete di distribuzione efficiente può ridurre i costi di trasporto e facilitare l'accesso ai carburanti sostenibili. Punti di distribuzione strategicamente posizionati possono garantire una fornitura costante di SAF, riducendo i tempi di consegna e i costi associati. Lo sviluppo di infrastrutture di stoccaggio adeguate garantirebbe una migliore gestione dei rischi connessi alle fluttuazioni nella produzione e nella domanda di SAF, assicurando una disponibilità continua di carburanti sostenibili.

Per ultimo, l'espansione del mercato dei SAF in regioni emergenti e ricche di materie prime apre le porte a potenziali opportunità di investimento in nuovi mercati. In unione con il punto precedente, la creazione di strutture produttive e distributive in nuovi mercati può contribuire allo sviluppo complessivo del mercato dei SAF, generando rendimenti economici per gli investitori.

6.3 CONSIDERAZIONI FINALI

Nel presente documento si è analizzato in dettaglio il ruolo dei Sustainable Aviation Fuels nella trasformazione sostenibile dell'industria dell'aviazione. È emerso chiaramente che i SAF offrono una soluzione potenzialmente efficace per ridurre le emissioni di gas serra del settore, contribuendo significativamente agli obiettivi di decarbonizzazione. Tuttavia, il percorso verso una diffusione su ampia scala dei SAF è caratterizzato da sfide significative.

In primo luogo, i costi di produzione dei SAF rimangono elevati rispetto ai carburanti fossili tradizionali. Questo rappresenta un ostacolo non solo per le compagnie aeree, che operano in un settore caratterizzato da margini di profitto sottili, ma anche per i produttori che devono affrontare ingenti investimenti iniziali. Inoltre, la disponibilità limitata di feedstock sostenibili, necessari per la produzione dei SAF, aggrava ulteriormente la situazione. Questo problema è particolarmente evidente nel contesto della biomassa di prima generazione, che entra in competizione diretta con la produzione alimentare, sollevando preoccupazioni etiche e pratiche riguardo alla sicurezza alimentare globale.

Le tecnologie emergenti, come la tecnologia Power-to-Liquid, offrono soluzioni promettenti, ma richiedono ulteriore sviluppo e capitali. La transizione verso queste tecnologie sarà cruciale per aumentare la produzione di SAF in modo sostenibile e scalabile. Tuttavia, la complessità tecnica e la necessità di infrastrutture avanzate rappresentano importanti barriere da superare.

Nonostante queste difficoltà, ci sono anche notevoli opportunità. L'innovazione tecnologica continua a progredire, e con essa, le potenzialità per migliorare l'efficienza dei processi produttivi e ridurre i costi. In aggiunta, il crescente impegno normativo, come dimostrato dalle iniziative dell'Unione Europea con il programma ReFuelEU Aviation, fornisce un quadro di supporto essenziale per incentivare l'adozione dei SAF.

La futura diffusione dei SAF dipenderà in gran parte dalla cooperazione tra governi, industria e comunità scientifica. Politiche di supporto, incentivi economici e investimenti in ricerca e sviluppo saranno fondamentali per superare le attuali barriere. Inoltre, la sensibilizzazione e l'educazione del pubblico e degli stakeholder del settore sui benefici a lungo termine dei SAF saranno cruciali per costruire un consenso e una domanda stabile.

In conclusione, mentre i SAF rappresentano un componente fondamentale della strategia globale per aumentare il grado di sostenibilità nell'industria dell'aviazione, il loro potenziale potrà essere pienamente realizzato solo attraverso un impegno comune per affrontare le sfide economiche, tecniche e sociali. Solo in questo modo sarà possibile garantire un futuro sostenibile per il settore, contribuendo in modo significativo alla lotta contro il cambiamento climatico.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Capitolo 1

1. IATA, Carburante sostenibile per l'aviazione (SAF).
<https://www.iata.org/en/policy/environment/sustainable-aviation-fuels/>
2. IATA, Net zero 2050: sustainable aviation fuels.
<https://www.iata.org/en/policy/environment/sustainable-aviation-fuels/>
3. ACEA, Compensazione CO2.
<https://www.acea.it/guide/compensazione-co2>
4. Eni, Cos'è la CCS.
<https://www.eni.com/ravenna-ccs/it-IT/tecnologia/cos-e-la-ccs.html>
5. RiEnergia, Combustibili sostenibili per trasporti: facciamo chiarezza sulle definizioni, Chiamonti.
<https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/34877/Combustibili+sostenibili+per+trasporti:+facciamo+chiarezza+sulle+definizioni/Chiamonti>
6. IATA, SAF - What is SAF?
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>
7. IATA, SAF and Sustainability
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-and-sustainability.pdf>
8. IATA, Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-technical-certifications.pdf>
9. IATA, Fact Sheet 8: SAF Project Economics
https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet8_saf_project_economics.pdf
10. IATA, Fact Sheet - US and EU SAF Policies
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact-sheet---us-and-eu-saf-policies.pdf>
11. Swiss, Carburante sostenibile per l'aviazione
<https://www.swiss.com/corporate/en/company/corporate-responsibility/environmental-responsibility/saf>
12. Airbus, Carburante sostenibile per l'aviazione | Decarbonizzazione
<https://www.airbus.com/en/sustainability/respecting-the-planet/decarbonisation/sustainable-aviation-fuels>
13. ICAO, Carburante sostenibile per l'aviazione (SAF)
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CERT.aspx>
14. Air bp, Che cos'è il carburante sostenibile per l'aviazione (SAF) e perché è importante? | Notizie e opinioni
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
15. Compare Private Planes, Sustainable Aviation Fuel: Everything You Need to Know

- <https://compareprivateplanes.com/it/articles/sustainable-aviation-fuel-saf-everything-you-need-to-know>
16. International Energy Agency (IEA), Aviation
<https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>
 17. Enel X Corporate, Net Zero Meaning
<https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/net-zero-meaning>
 18. La Repubblica, Differenza tra emissioni zero, net zero e carbon neutral, 04 febbraio 2022
https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/02/04/news/differenza_emissioni_zero_net_zero_carbon_neutral_transizione_ecologica-336260211/
 19. ACEA, Biomasse
<https://www.acea.it/guide/biomasse>
 20. ANSA, Le due facce dei biocarburanti, 14 novembre 2017
https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/focus_energia/2017/11/14/le-due-facce-dei-biocarburanti_da823e58-2eb5-4be4-9632-42f6391436f4.html
 21. EASA, Sustainable Aviation Fuels (SAF)
<https://www.easa.europa.eu/eco/eacr/topics/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels#non-drop-in-saf>
 22. ResearchGate, Direct and indirect land use change (DLUC and ILUC)
https://www.researchgate.net/figure/Direct-and-indirect-land-use-change-DLUC-and-ILUC_fig3_298209481
 23. La Stampa, Biocarburanti: più vantaggi o rischi per l'ambiente?
https://www.lastampa.it/green-and-blue/dossier/viaggio-al-centro-del-futuro-ok/2023/11/09/news/biocarburanti_piu_vantaggi_o_rischi_per_lambiente-419932649/
 24. ISCC System, How to Deal with Indirect Land Use Change
<https://www.isccsystem.org/news/how-to-deal-with-indirect-land-use-change/>
 25. AvioHub, I combustibili aeronautici: quali sono e cosa li caratterizza?
<https://www.aviohub.it/2022/09/i-combustibili-aeronautici-quali-sono-e-cosa-li-caratterizza/>
 26. EASA, What Are Sustainable Aviation Fuels?
<https://www.easa.europa.eu/eco/eacr/topics/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels#non-drop-in-saf>
 27. BusinessGreen, Processing: Boosting Sustainable Aviation Fuel Supply
<https://www.businessgreen.com/sponsored/4053254/processing-boosting-sustainable-aviation-fuel-supply>
 28. SAF Investor, How is Sustainable Aviation Fuel (HEFA-SAF) Made?
<https://www.safinvestor.com/news/142447/how-is-sustainable-aviation-fuel-hefa-saf-made/>
 29. ASTM International, ASTM D1655 - 22a, Standard Specification for Aviation Turbine Fuels
<https://www.astm.org/d1655-22a.html>
 30. ASTM International, ASTM D7566 – 22, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons
<https://www.astm.org/d7566-22.html>
 31. Statista, Number of Oil Refineries Worldwide

- <https://www.statista.com/statistics/1445314/number-of-oil-refineries-worldwide/#:~:text=As%20of%202023%2C%20there%20are%20825%20operational%20crude%20oil%20refineries%20worldwide>
32. BP, What is eSustainable Aviation Fuel (eSAF)?
<https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/what-is-esaf.html>
 33. Aviation Benefits, W2050 Full Report
https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf
 34. Aviation Benefits, W2050 Summary Report
https://aviationbenefits.org/media/167418/w2050_v2021_27sept_summary.pdf
 35. United Nations, Paris Agreement
<https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
 36. M. A. Hasan, A. A. Mamun, S. M. Rahman, K. Malik, M. I. U. Al Amran, A. N. Khondaker, O. Reshi, S. P. Tiwari, F. S. Alismail. (2021). Climate Change Mitigation Pathways for the Aviation Sector. Sustainability, 13, 3656.
<https://doi.org/10.3390/su13073656>
 37. ScienceDirect, Aviation gas turbine alternative fuels: A review
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1540748910003950>
 38. International Air Transport Association, Aircraft Technology Net Zero Roadmap
<https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/aircraft-technology-net-zero-roadmap.pdf>
 39. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA Eligibility Criteria
<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/CERT.aspx>
 40. Susanne Becken, Brendan Mackey. (2017). What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world? Journal of Air Transport Management, 63, 71-83.
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.05.009>
 41. Simon Blakey, Lucas Rye, Christopher Willam Wilson. (2011). Aviation gas turbine alternative fuels: A review. Proceedings of the Combustion Institute, 33(2), 2863-2885.
<https://doi.org/10.1016/j.proci.2010.09.011>
 42. A. Prapotnik Brdnik, R. Kamnik, M. Marksel, S. Božičnik. (2019). Market and Technological Perspectives for the New Generation of Regional Passenger Aircraft. Energies, 12(10), 1864.
<https://doi.org/10.3390/en12101864>
 43. U.S. Department of Energy, Waste to Wingtip: Sustainable Aviation Fuel
<https://www.energy.gov/energysaver/waste-wingtip-sustainable-aviation-fuel>
 44. Aviation Benefits, What is Sustainable Aviation Fuel (SAF)?
<https://aviationbenefits.org/faqs/what-is-sustainable-aviation-fuel/>
 45. HSSMI, Waste to Wings: Aviation Emissions Fuel Municipal Waste
<https://hssmi.com/waste-to-wings-aviation-emissions-fuel-municipal-waste/>
 46. Waste Dive, Waste Jet: Sustainable Aviation Fuel
<https://www.wastedive.com/news/waste-jet-sustainable-aviation-fuel-fulcrum-bioenergy-saf/620365/>
 47. International Energy Agency (IEA), Is the Biofuel Industry Approaching a Feedstock Crunch?
<https://www.iea.org/reports/is-the-biofuel-industry-approaching-a-feedstock-crunch>
 48. International Energy Agency (IEA), Are Conditions Right for Biojet to Take Flight Over the Next Five Years?

- <https://www.iea.org/articles/are-conditions-right-for-biojet-to-take-flight-over-the-next-five-years>
49. Umweltbundesamt, Background Paper Power-to-Liquids Aviation, 2022
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/background_paper_power-to-liquids_aviation_2022.pdf
 50. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA - Approved Emissions Reductions Programmes
<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Project.aspx?ProjectID=46>
 51. Roland Berger, Circular Sustainable Aviation Fuel
https://content.rolandberger.com/hubfs/Circular_SAF_09.pdf?utm_campaign=23-0092_EV-charging-index-4&utm_medium=email&hsmi=284808809&hsenc=p2ANqtz-yTemCdd5mx2DFppcPBpORiTOjjNoupMYYjMsi-WQEp2yINZ_p3WAKxDsTiI6cSSoyYdjzzqzXNvPadZowk_TF2EPa6Hd87gJKFsdDmlHpW1f9WA&utm_content=284808809&utm_source=hs_automation
 52. European Parliament, Circular Economy: Definition, Importance, and Benefits
<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Capitolo 2

53. Openpolis, Cos'è il Green Deal Europeo?
<https://www.openpolis.it/parole/cose-il-green-deal-europeo/>
54. Consiglio dell'Unione Europea, Green Deal
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
55. Enel, Il Green Deal Europeo
<https://www.enel.com/it/azienda/storie/articles/2023/04/green-deal-europeo>
56. Commissione Nazionale per le Società e la Borsa (CONSOB), Il Green Deal Europeo
<https://www.consob.it/web/area-pubblica/il-green-deal-europeo>
57. EuroNews, What Does the Future Hold for the European Green Deal?
<https://www.euronews.com/2024/01/24/what-does-the-future-hold-for-the-european-green-deal>
58. Borsa Italiana, Green Deal
<https://www.borsaitaliana.it/finanza-sostenibile/materiali/green-deal.en.htm>
59. Consiglio dell'Unione Europea, Fit for 55: The EU Plan for a Green Transition
<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
60. European Climate Change Organisation, Fit for 55
<https://eccoclimate.org/fit-for-55/>
61. Deloitte, Fit for 55 Package
<https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/about-deloitte/articles/ce-fit-for-55-package.html>
62. KPMG, The European Green Deal and Fit for 55
<https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2021/11/the-european-green-deal-and-fit-for-55.html>
63. Enel, Fit for 55: Europe's Energy Transition Goals

- <https://www.enel.com/company/stories/articles/2021/08/fit-for-55-europe-energy-transition-goals>
64. Consiglio dell'Unione Europea, Effort Sharing Regulation
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-effort-sharing-regulation/>
 65. Consiglio dell'Unione Europea, Emissions Cars and Vans
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-emissions-cars-and-vans/>
 66. Consiglio dell'Unione Europea, RefueLEU and FuelEU
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-refueleu-and-fueleu/>
 67. Consiglio dell'Unione Europea, LULUCF (Land Use, Land Use Change, and Forestry)
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-lulucf-land-use-land-use-change-and-forestry/>
 68. GSE - Gestore dei Servizi Energetici, Aste CO2 - Sistema EU ETS
<https://www.gse.it/servizi-per-te/mercati-energetici/aste-co2/sistema-eu-ets>
 69. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Emission Trading
<https://www.mase.gov.it/pagina/emission-trading>
 70. TuttoAmbiente, Emission Trading System (EU ETS)
<https://www.tuttoambiente.it/commenti-premium/emission-trading-system-eu-ets/>
 71. Consiglio dell'Unione Europea, CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism)
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-cbam-carbon-border-adjustment-mechanism/>
 72. European Commission, Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)
https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en?prefLang=it&etrans=it
 73. Agenzia delle Dogane e dei Monopoli, Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)
<https://www.adm.gov.it/portale/cbam-carbon-border-adjustment-mechanism>
 74. Fisco e Tasse, Come Funziona il Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)
<https://www.fiscoetasse.com/approfondimenti/15896-come-funziona-il-carbon-border-adjustment-mechanism-cbam.html>
 75. Consiglio dell'Unione Europea, Fit for 55: Council and Parliament Reach Deal on Proposal to Revise Energy Performance of Buildings Directive
<https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2023/12/07/fit-for-55-council-and-parliament-reach-deal-on-proposal-to-revise-energy-performance-of-buildings-directive/>
 76. Consiglio dell'Unione Europea, Making Buildings in the EU Greener
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
 77. Consiglio dell'Unione Europea, Social Climate Fund
<https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-social-climate-fund/>
 78. United Nations Framework Convention on Climate Change, Greenwashing
<https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/greenwashing#:~:text=By%20misleading%20the%20public%20to,delay%20concrete%20and%20credible%20action.>
 79. Maria Cristina Carta, "Il Green Deal europeo. Considerazioni critiche sulla tutela dell'ambiente e le iniziative di diritto UE," 24/10/2020. ISSN 2384-9169
<https://rivista.eurojus.it/wp-content/uploads/pdf/Il-Green-Deal-europeo.pdf>

80. EU News, "HGE7: Green Deal europeo, sfide e opportunità per la ripresa verde dalla crisi," 3 dicembre 2020.
<https://www.eunews.it/2020/12/03/hge7-green-deal-europeo-sfide-opportunita-ripresa-verde-dalla-crisi/>
81. Consiglio dell'Unione Europea, RefuelEU Aviation Initiative: Council Adopts New Law to Decarbonise the Aviation Sector
<https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2023/10/09/refueleu-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector/>
82. Consiglio dell'Unione Europea, Documento Ufficiale Fit for 55
<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-29-2023-INIT/it/pdf>
83. European Union Aviation Safety Agency (EASA), Fit for 55 and RefuelEU Aviation
<https://www.easa.europa.eu/it/light/topics/fit-55-and-refueleu-aviation>
84. FuelsEurope, RefuelEU Aviation
<https://www.fuelseurope.eu/publications/publications/refuel-eu-aviation>
85. European Commission, Renewable Energy Directive
https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en?prefLang=it&etrans=it
86. Ernst & Young, "EU Council Adopts New Renewable Energy Rules and Rules for Promotion of Sustainable Aviation Fuels Under Fit for 55"
https://www.ey.com/en_gl/tax-alerts/eu-council-adopts-new-renewable-energy-rules-and-rules-for-promotion-of-sustainable-aviation-fuels-under-fit-for-55
87. International Civil Aviation Organization (ICAO), Environmental Report 2022
https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art38.pdf
88. Rinnovabili.it, "RefuelEU Aviation: nuove norme UE per il trasporto aereo"
<https://rinnovabili.it/mobilita/aeronautica-sostenibile/refueleu-aviation-nuove-norme-ue-trasporto-aereo/>
89. Laurent Tabernier, Robin Deransy, and Dan Rutherford, "Economic Fuel Tankering: A Threat to Aviation Decarbonisation," Eurocontrol and ICCT
https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art38.pdf
90. Presidency of the Republic of Turkey, "RefuelEU Aviation Initiative: Council Adopts New Regulation to Decarbonise the Aviation Sector"
https://www.ab.gov.tr/refueleu-aviation-initiative-council-adopts-new-regulation-to-decarbonise-the-aviation-sector_53623_en.html
91. U.S. Department of Commerce, European Union Aerospace and Defense: Sustainable Aviation Fuel Regulation
<https://www.trade.gov/market-intelligence/european-union-aerospace-and-defense-sustainable-aviation-fuel-regulation>
92. Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB), Book and Claim
<https://rsb.org/programmes/book-and-claim/>
93. International Air Transport Association (IATA), CORSIA Handbook
<https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/corsia-handbook.pdf>

94. Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, Organizzazione internazionale per l'aviazione civile (ICAO)
https://www.esteri.it/it/politica-estera-e-cooperazione-allo-sviluppo/organizzazioni_internazionali/icao-organizzazione-internazionale-per-laviazione-civile/
95. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), The Paris Agreement
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
96. International Civil Aviation Organization (ICAO), Low-Emissions Alternative Fuels Task Group (LTAF)
<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx>
97. Aviation Benefits, Understanding CORSIA
https://aviationbenefits.org/media/167222/fact-sheet_6_understanding-corsia_3.pdf
98. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA Brochure
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA%20Brochure/2023%20Edition/CORSIA-Brochure2023-EN-WEB.pdf>
99. European Union Aviation Safety Agency (EASA), CORSIA
<https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/market-based-measures/corsia>
100. Aviation Benefits, CORSIA Explained
<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/offsetting-emissions-corsia/corsia/corsia-explained/>
101. International Civil Aviation Organization (ICAO), Resolution A41-22 CORSIA
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/Resolution_A41-22_CORSIA.pdf
102. International Air Transport Association (IATA), CORSIA Fact Sheet
<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---corsia/>
103. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA State Pairs
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/state-pairs.aspx>
104. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA FAQs
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-FAQs.aspx>
105. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA and Covid-19
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-and-Covid-19.aspx>
106. International Civil Aviation Organization (ICAO), CORSIA FAQs, December 2022
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_FAQs_Dec2022.pdf
107. Air Carbon Research Institute (ACR), International Civil Aviation Organization (ICAO)
<https://acrcarbon.org/our-markets/international-civil-aviation-organization-icao/>
108. Airways Magazine, Explained: ICAO's CORSIA Scheme
[https://airwaysmag.com/explained-icaos-corsia-scheme/#:~:text=The%20primary%20objective%20of%20CORSIA,phase%20\(2024%2D2035\).](https://airwaysmag.com/explained-icaos-corsia-scheme/#:~:text=The%20primary%20objective%20of%20CORSIA,phase%20(2024%2D2035).)
109. International Air Transport Association (IATA), CORSIA
<https://www.iata.org/en/programs/environment/corsia/#:~:text=It%20is%20forecast%20that%20CORSIA,of%20CO2%20by%202035.>

110. International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 16 - Environmental Protection - Volume IV - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA), 2nd Edition, July 2023
111. EUR-Lex, Regulation (EU) 2017/2392
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2392>
112. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, CORSA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
<https://www.mase.gov.it/pagina/corsia-carbon-offsetting-and-reduction-scheme-international-aviation>
113. EUR-Lex, Regulation (EU) 2018/2066
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R2066>
114. EUR-Lex, Regulation (EU) No 601/2012
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0601>
115. EUR-Lex, Regulation (EU) 2018/2067
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R2067>
116. Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), CORSA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
<https://www.enac.gov.it/ambiente/impatto-ambientale/le-emissioni-gassose/corsia-carbon-offsetting-and-reduction-scheme-for>

Capitolo 3

117. European Commission. "Voluntary schemes."
https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en?prefLang=it&etrans=it
118. Feige, A., & Pforte, L. (2018). "Sustainability Certification in the Aviation Industry." In M. Kaltschmitt & U. Neuling (Eds.), *Biokerosene*. Springer, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_17
119. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification).
<https://www.iscc-system.org/certification/faq/what-is-iscc/>
120. Treccani. "Multistakeholder."
[https://www.treccani.it/vocabolario/multistakeholder_\(Neologismi\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/multistakeholder_(Neologismi)/)
121. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification)
<https://www.iscc-system.org/>
122. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "Recognitions."
<https://www.iscc-system.org/markets/recognitions/>
123. Bureau Veritas Italia. "ISCC-EU."
<https://www.bureauveritas.it/needs/iscc-eu>
124. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "ISCC-EU Certification Schemes."
<https://www.iscc-system.org/certification/iscc-certification-schemes/iscc-eu/>
125. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "ISCC-CORSA Certification Schemes."
<https://www.iscc-system.org/certification/iscc-certification-schemes/iscc-corsia/>

126. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "Which certification is right for me?"
<https://www.iscc-system.org/certification/faq/which-certification-is-right-for-me/>
127. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "Our logos."
<https://www.iscc-system.org/about/our-logos/>
128. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "RSB Principles & Criteria."
<https://rsb.org/wp-content/uploads/2020/06/RSB-Principles-Criteria-STD-01-001-v4.pdf>
129. ISEAL Alliance, Who We Are
<https://www.isealalliance.org/about-iseal/who-we-are>
130. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials), Book and Claim Programme
<https://rsb.org/programmes/book-and-claim/>
131. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "Who We Are."
<https://rsb.org/about-rsb/who-we-are/>
132. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials)
<https://rsb.org/>
133. Climate Initiatives Platform. "Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB Standard)."
[https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Roundtable_on_Sustainable_Biomaterials_\(RSB_Standard\)](https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Roundtable_on_Sustainable_Biomaterials_(RSB_Standard))
134. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "What We Do."
<https://rsb.org/about-rsb/what-we-do/>
135. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "Membership."
<https://rsb.org/membership/>
136. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "Programmes."
<https://rsb.org/programmes/>
137. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "Certification."
<https://rsb.org/certification/>
138. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "RSB Certification Guide 2020."
https://rsb.org/wp-content/uploads/2020/06/RSB-Certification-Guide-2020-update_compressed.pdf
139. International Civil Aviation Organization (ICAO). "RSB ICAO AFI Webinar."
<https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2022/SAF-CORSIA/4.%20RSB.%20ICAO%20AFI%20Webinar.12.04.22.pdf>
140. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials). "Principles and Criteria."
<https://rsb.org/framework/principles-and-criteria/>
141. 2BSVS (2BS Association). "What is the 2BS Association?"
<https://www.2bsvs.org/what-is-the-2bs-association.html>
142. EUR-Lex. "Commission Implementing Decision (EU) 2022/599."
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022D0599>
143. 2BSVS (2BS Association). "Our Services."
<https://www.2bsvs.org/our-services.html>
144. 2BSVS (2BS Association). "Scopes of Certification."
<https://www.2bsvs.org/scopes-of-certification.html>
145. 2BSVS (2BS Association). "Schema Description."
<https://www.2bsvs.org/schema-description.html>

146. 2BSVS (2BS Association). "Certification Bodies."
<https://www.2bsvs.org/certification-bodies.html>
147. 2BSVS (2BS Association). "Other Scheme Recognition."
<https://www.2bsvs.org/other-scheme-recognition.html>
148. 2BSVS (2BS Association). "SAI Recognition."
<https://www.2bsvs.org/sai-recognition.html>
149. Champlor. "Valtris Champlor First French Company to Obtain 2BSVS Certification."
<https://champlor.com/en/news/valtris-champlor-first-french-company-to-obtain-2bsvs-certification/>
150. EU energy policy
https://energy.ec.europa.eu/index_en?redir=1
151. Bureau Veritas Italia. "2BSVS."
<https://www.bureauveritas.it/needs/2bsvs>
152. Bureau Veritas Group
<https://group.bureauveritas.com/>
153. RINA
<https://www.rina.org/en>

Capitolo 4

154. Neste. "Used Cooking Oils."
<https://www.neste.com/news-and-insights/innovation/used-cooking-oils>
155. S&P Global. "Second-Generation Biofuels: SAF, Used Cooking Oil, Palm."
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/agriculture/031424-second-generation-biofuels-saf-used-cooking-oil-palm>
156. S&P Global. "Global UCO Supply to Double by 2030 as US, EU Policies Drive Asian Supply."
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/agriculture/100423-global-uco-supply-to-double-by-2030-as-us-eu-policies-drive-asian-supply#:~:text=%22We%20estimate%20China%20collects%20between,annually%2C%22%20the%20trader%20said.>
157. U.S. Department of Energy. "The President's Inflation Reduction Act 2022."
<https://www.energy.gov/lpo/inflation-reduction-act-2022#:~:text=The%20President's%20Inflation%20Reduction%20Act,energy%20manufacturing%2C%20and%20putting%20the>
158. Transport & Environment, "80% of Europe's used cooking oil now imported, raising concerns over fraud – study."
<https://www.transportenvironment.org/articles/80-of-europes-used-cooking-oil-now-imported-raising-concerns-over-fraud-study>
159. Technoilogy. "Revitalizing Waste: The Transformative Journey of UCO Treatment."
<https://www.technoilogy.it/senza-categoria/revitalizing-waste-the-transformative-journey-of-uco-treatment/>
160. EURACTIV, EU throws the ball to member states to monitor RED II implementation.

- <https://www.euractiv.com/section/agriculture-food/news/eu-throws-the-ball-to-member-states-to-monitor-red-ii-implementation/>
161. Oliver Wyman, Alternative SAF technologies for Feedstock Limitations, March 2024
<https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2024/mar/alternative-saf-technologies-for-feedstock-limitations.html#:~:text=Most%20SAF%20today%20is%20produced,typically%20have%20low%20carbon%20intensity.>
 162. Spherical Insights. "Global Used Cooking Oil Market Size, Share, and COVID-19 Impact Analysis."
<https://www.sphericalinsights.com/reports/used-cooking-oil-market>
 163. Industry and Energy, "TE: Europe's Used Cooking Oil Boom Raises Concerns"
<https://www.industryandenergy.eu/biobased-economy/te-europes-used-cooking-oil-boom-raises-concerns/>
 164. Borsa Italiana
<https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/cagr-259.htm>
 165. Salehmin, M. N. I., Tiong, S. K., Mohamed, H., Zainal, B. S., Lim, S. S., Yasin, N. H. M., & Zakaria, Z. (2024). "Sustainable bioenergy from palm oil mill effluent: Advancements in upstream and downstream engineering with techno-economic and environmental assessment." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 133, 122-147.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.12.033>
 166. ISCC (International Sustainability & Carbon Certification). "ISCC Guidance Waste and Residues from Palm Oil Mills."
https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2022/08/ISCC_Guidance_WR_from_Palm_Oil_Mills_V3.0.pdf
 167. Mohammad, S., Baidurah, S., Kobayashi, T., Ismail, N., & Leh, C. P. (2021). "Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review." *Processes*, 9(5), 739.
<https://doi.org/10.3390/pr9050739>
 168. IGI Global. "Lean Logistics of the Transportation of Fresh Fruit Bunches (FFB) in the Palm Oil Industry."
<https://www.igi-global.com/dictionary/lean-logistics-of-the-transportation-of-fresh-fruit-bunches-ffb-in-the-palm-oil-industry/60511#:~:text=Chapter%2081,palm%20oil%20and%20palm%20kernel.>
 169. Rana, S., Singh, L., Wahid, Z., et al. (2017). "A Recent Overview of Palm Oil Mill Effluent Management via Bioreactor Configurations." *Current Pollution Reports*, 3, 254–267.
<https://doi.org/10.1007/s40726-017-0068-2>
 170. United States Department of Agriculture. "Crop Explorer - Commodity View: Soybean."
<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>
 171. Yeoh, M.L., & Goh, C.S. (2022). "Hydrotreated vegetable oil production from palm oil mill effluents: Status, opportunities and challenges." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(5), 1153-1158.
<https://doi.org/10.1002/bbb.2365>
 172. Okoli, I. C. "Oil Palm Tree Wastes 8: The uses of the palm oil mill effluent." 2020.
<https://researchtropica.com/oil-palm-tree-wastes-8-the-uses-of-the-palm-oil-mill-effluent/>

173. EUR-Lex, Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio sull'uso dell'energia da fonti rinnovabili, 21 dicembre 2018.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>
174. S&P Global. "Growing demand, tight supply drives Asia POME market higher."
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/agriculture/011924-growing-demand-tight-supply-drives-asia-pome-market-higher>
175. Glossario Marketing. "FOB (Free On Board)."
<https://www.glossariomarketing.it/significato/fob/>
176. S&P Global. "Malaysia's POME exports to EU soar in 2023 on healthy waste feedstocks demand."
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/agriculture/012524-malaysias-pome-exports-to-eu-soar-in-2023-on-healthy-waste-feedstocks-demand>
177. Argus Media. "Indonesia, Malaysia palm waste exports raises questions."
<https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2441612-indonesia-malaysia-palm-waste-exports-raises-questions>
178. Kuntom, A., Siew, W.L., & Tan, Y.A. (1994). "Characterization of palm acid oil." *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(5), 525-528.
<https://doi.org/10.1007/BF02540665>
179. Golden Agri-Resources. "PFAD Factsheet."
https://goldenagri.com.sg/wp-content/uploads/2020/06/PFAD-Factsheet_20200605-R.pdf#:~:text=1.-,What%20is%20PFAD%3F,a%20brown%20liquid%20on%20heating.
180. Coherent Market Insights. "Animal fats and oils market analysis."
<https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/animal-fats-and-oils-market-5803>
181. Cerulogy. "The fat of the land. The impact of biofuel demand on the European market for rendered animal fats." May 2023.
https://www.cerulogy.com/wp-content/uploads/2023/07/Cerulogy_Fat-of-the-land_May2023.pdf
182. European Fat Processors and Renderers Association (EFPPRA)
<https://efpra.eu/rendered-products/rendered-fat/>
183. Smailagic, B. "Pigs do fly! Growing demand for animal fats biofuels to power Europe's transport system raises concerns over climate impacts and potential fraud." May 2023.
https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/05/202304_Animal_fats_briefing_TE.pdf
184. Unione Europea. REGOLAMENTO (CE) n. 1069/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1069>
185. EY. "Sottoprodotti di Origine Animale e Prodotti Derivati."
186. McGrath, M. (2023, May 31). "Using pig fat as green jet fuel will hurt planet, experts warn." BBC.
<https://www.bbc.com/news/science-environment-65727664>
187. Euractiv. "Animal fats dilemma: How to ensure a balanced use of a precious commodity?" July 10, 2023.

- <https://www.euractiv.com/section/biomass/opinion/animal-fats-dilemma-how-to-ensure-a-balanced-use-of-a-precious-commodity/>
188. Unione Europea. Biocarburanti - elenco aggiornato delle materie prime sostenibili per biocarburanti.
https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13484-Biocarburanti-elenco-aggiornato-delle-materie-primе-sostenibili-per-biocarburanti_it
189. Coherent Market Insights. "Animal fats and oils market analysis." November 2023.
<https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/animal-fats-and-oils-market-5803>

Capitolo 5

190. Precedence Research, "Sustainable Aviation Fuel Market".
<https://www.precedenceresearch.com/sustainable-aviation-fuel-market>
191. Strategy& PwC, "Sustainable Aviation Fuel".
<https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/aerospace-defense/sustainable-aviation-fuel/strategyand-sustainable-aviation-fuel.pdf>
192. UK Government, "Pathway to Net Zero Aviation: Developing the UK Sustainable Aviation Fuel Mandate".
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1147350/pathway-to-net-zero-aviation-developing-the-uk-sustainable-aviation-fuel-mandate.pdf
193. U.S. Department of Energy, "BETO Sustainable Aviation Fuel Guiding Coalition Roadmap Report".
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>
194. International Air Transport Association (IATA), "News Release".
<https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-12-06-02/>
195. S&P Global, "SAF Production to Triple to 15 Mil Mt in 2024, but Progress Slow: IATA".
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/120623-saf-production-to-triple-to-15-mil-mt-in-2024-but-progress-slow-iata>
196. Borsa Italiana, "Capital Expenditures".
<https://www.borsaitaliana.it/borsa/glossario/capital-expenditures.html#:~:text=Definizione,di%20investimenti%20in%20capitale%20fisso>
197. Center for Environmental Analysis (CENA), "Sustainable Aviation Fuel Outlook".
<https://www.cena-hessen.de/en/projects/sustainable-aviation-fuel-outlook/>
198. GreenAir News
<https://www.greenairnews.com/?p=1881>
199. World Economic Forum, "Clean Skies Tomorrow: SAF Analytics 2020".
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf
200. ING Bank, "Stronger Supply of Sustainable Aviation Fuels Critical to Securing Uptake".
<https://think.ing.com/articles/stronger-supply-of-sustainable-aviation-fuels-critical-to-securing-uptake/>
201. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Technology Readiness Levels".

- <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>
202. Reuters, "U.S. sustainable aviation fuel production target faces cost, margin challenges".
<https://www.reuters.com/sustainability/us-sustainable-aviation-fuel-production-target-faces-cost-margin-challenges-2023-11-01/>
203. Kuwait Petroleum Italia, "JET A-1 Quaser (usi Aviazione)",
https://www.q8.it/documents/9712510/9745020/JET+A-1_Quaser+%28usi+Aviazione%29_04.pdf/e76a94de-bf18-b3b4-01cb-77f745492e87
204. World Economic Forum, "Ambition Statement for Signatories".
https://www3.weforum.org/docs/WEF_EMBARGOED_CST_Ambition_Statement_for_Signatories.pdf
205. Neste, "Who We Are - Purpose, Vision, and Values".
<https://www.neste.com/about-neste/who-we-are/purpose-vision-and-values>
206. Neste, "Who We Are".
<https://www.neste.com/about-neste/who-we-are>
207. Neste, "Neste Strategy".
<https://www.neste.com/about-neste/who-we-are/neste-strategy>
208. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Carbon Footprint Calculator Definitions".
<https://www3.epa.gov/carbon-footprint-calculator/tool/definitions/co2e.html#:~:text=Carbon%20dioxide%20equivalent%20or%20CO,in%2040%20CFR%20Part%2098.>
209. Neste, "Neste MY Renewable Diesel".
<https://www.neste.com/products-and-innovation/neste-my-renewable-diesel>
210. Neste, "Neste Plastics".
<https://www.neste.com/products-and-innovation/plastics>
211. Neste, "Neste Marine Fuels Coprocessed".
<https://www.neste.com/products-and-innovation/marine-products/neste-marine-fuels-coprocessed>
212. Gevo, "FAQs".
<https://gevo.com/company/faqs/>
213. MarketScreener, "Quotazioni Azione GEVO INC".
<https://it.marketscreener.com/quotazioni/azione/GEVO-INC-44136865/azienda/>
214. Gevo, "Location Luverne, MN".
<https://gevo.com/location/luverne-mn/>
215. Gevo, "Generating RNG".
<https://gevo.com/product/generating-rng/>
216. TradingView, "NASDAQ: GEVO".
<https://it.tradingview.com/symbols/NASDAQ-GEVO/>
217. Gevo, "Sustainable Aviation Fuel".
<https://gevo.com/product/sustainable-aviation-fuel/>
218. Wikipedia, "Shell (azienda)".
[https://it.wikipedia.org/wiki/Shell_\(azienda\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Shell_(azienda))
219. Shell, "Consolidated Financial Statements - Notes - Segment Information".

- <https://reports.shell.com/annual-report/2023/consolidated-financial-statements/notes/segment-information.html?search-highlight=segments%3A%20segment%20segments%20segmental%20Segment>
220. Shell, "Powering Progress Strategy".
<https://reports.shell.com/annual-report/2023/strategic-report/powering-progress-strategy/our-strategy.html?search-highlight=purpose>
 221. Yahoo Finance, "Shell (SHEL) Financials".
<https://finance.yahoo.com/quote/SHEL/financials>
 222. Shell, "The Future of Energy: Sustainable Aviation Fuel".
<https://www.shell.com/business-customers/aviation/the-future-of-energy/sustainable-aviation-fuel.html#iframe=L2wvODc3OTYyLzIwMjMtMDUtMjIvNHdiNjh2>
 223. Shell, "Synthetic Kerosene".
<https://www.shell.com/business-customers/aviation/the-future-of-energy/sustainable-aviation-fuel/synthetic-kerosene.html>
 224. Wikipedia, "TotalEnergies".
<https://it.wikipedia.org/wiki/TotalEnergies>
 225. Yahoo Finance, "TotalEnergies SE (TTE) Income Statement".
<https://finance.yahoo.com/quote/TTE/financials?p=TTE>
 226. Statista, "Number of Employees at TotalEnergies SA".
<https://www.statista.com/statistics/279499/number-of-employees-at-total-sa/#:~:text=TotalEnergies%20employment%20figures%202010%2D2023&text=TotalEnergies%2C%20formerly%20Total%20SE%2C%20had,as%20of%20December%2031%2C%202023.>
 227. TotalEnergies, "Sustainability & Climate 2024 Progress Report".
https://totalenergies.com/system/files/documents/2024-03/totalenergies_sustainability-climate-2024-progress-report_2024_en_pdf.pdf#page=22
 228. TotalEnergies, "Energy Transition".
<https://totalenergies.com/energy-transition>
 229. TotalEnergies, "Airbus and TotalEnergies sign strategic partnership for sustainable aviation".
<https://totalenergies.com/media/news/press-releases/airbus-and-totalenergies-sign-strategic-partnership-sustainable-aviation>
 230. TotalEnergies Aviation, "Atom".
<https://aviation.totalenergies.com/en/atom/2996>
 231. TotalEnergies Aviation, "Fuels and Services - Sustainable Aviation Fuel".
<https://aviation.totalenergies.com/en/fuels-and-services-aviation/sustainable-aviation-fuel>
 232. Malpensa24, "Biocarburanti e SAF: quali sono e quali incentivi li promuovono?".
<https://www.malpensa24.it/malpensa-biocarburanti-saf-incentivi/>
 233. Wikipedia, "Internal Revenue Service".
https://en.wikipedia.org/wiki/Internal_Revenue_Service
 234. Internal Revenue Service (IRS), "Sustainable Aviation Fuel Credit".
<https://www.irs.gov/credits-deductions/businesses/sustainable-aviation-fuel-credit#:~:text=Amount%20of%20Credit,that%20the%20reduction%20exceeds%2050%25.>
 235. European Commission, "Horizon Europe Funding Programmes".

<https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes>

236. Fly Green Fund

<https://flygreenfund.se/en/>