Politecnico di Torino

Corso di laurea magistrale in
Ingegneria Gestionale

Utilizzo carburanti alternativi nel trasporto aereo ed effetti economici

Relatore:
Chiar.mo Prof. Carlo Cambini

Correlatore:
Dott.ssa Chiara Ravetti

Candidato:
Enrica Grimaldi

Anno accademico 2021 - 2022

A mia mamma, la persona più forte e determinata che io conosca. A lei, per non aver mai visto limiti e ostacoli insormontabili nel mio percorso ma per avermi dato la mano e aiutato a scavalcarli, insieme. Sei e sarei per sempre la mia roccia.

A mio papà, per essere la persona più buona e allo stesso tempo meno paziente del mondo. Pensare a questo periodo senza di te sarebbe impossibile. Tutti dicono che ti assomiglio molto e per me non c'è complimento migliore.

Ai miei fratelli. A Giuseppe per non esserci oggi, stai solo dimostrando quanto affidamento posso fare su di te e quanto importante per te la famiglia sia. Al mio fratellone più grande per tutti i consigli super preziosi e per tutte le frasi "puoi fare di più" o "puoi puntare più in alto", forse senza di te non lo saprei nemmeno. A te per aver scelto una sorella per me come moglie. A Katia per i capelli, il vestito, le scarpe e la cucina per i colloqui, non avrei potuto sperare in una soregnata (o cognella) più presente. Al mio fratellone più piccolo per essere con me oggi e per avermi fatto scoprire il mondo magico dei gestionali. A Vittorio per l'aiuto informatico, per il sostegno quotidiano e l'amicizia incondizionata. Sei la definizione perfetta di amitello (o framico).

Agli amici di Torino. A Rocs, la coinquilina più rumorosa e chiacchierona del mondo. A tutte le sigarette fuori dal balcone, alle sedute terapeutiche in camera tua, alle infinite camminate per tornare a casa dopo una serata fuori, alle spese di getir e agli "mi accendi il forno?". Hai reso quest'anno felice e pieno di ricordi bellissimi. A Matteo per essere stato il primo a rivolgermi la parola al Politecnico e farmi scoprire le Panche. Ad Antonio e Giuseppe, un duo inseparabile composto dalla persona più gentile ed empatica del mondo e dalla persona più simpatica e allo stesso tempo silenziosa che io conosca. A Giorgia, l'unica amica fuori dal Polito: mi sei piaciuta dall'inizio, anche se il sentimento forse non è stato reciproco. A Marianna, la prima persona del mio corso con cui abbia vissuto esperienze strane in vacanza e in seguito di coinquilinaggio. A Rob, una coinquilina più strana e vivace non avrei potuto trovarla.

Agli amici di casa. A Rossana, la mia migliore e peggiore amica da una vita. Se il fastidio, l'irritazione, la stima, il profondo affetto e il sincero amore potessero convivere in un sentimento e materializzarsi in qualcosa, la creazione della tua persona e di quello che provo per te sarebbe perfetto. Sarei una mezza calzetta senza di te, lo sai. A Giulia, avevi ragione quando mi hai detto che il nostro rapporto sarebbe cambiato ma saremmo rimaste legate come prima. A Giorgia, la mia amica più vecchia: potresti andare su Marte ma resteresti sempre la mia migliore amica dall'asilo. A Francesco, il cantante più dolce del mondo. Potremmo non sentirci per un anno intero, non cambierebbe nulla nella nostra amicizia. A Claudio, non pensavo sarebbe stato possibile cambiare idea così velocemente su qualcuno: la tua vicinanza e il tuo ascolto sono stati tanto fondamentali quanto inaspettati. Ad Alessandro (Morisco per gli amici), a volte vorrei parlassi di meno in palestra, ma mi rendo conto che perderesti il tuo tratto distintivo. A Salvatore per essere il bisex più gay che conosca. Ad Alessandra, la mia sorellona (o sorellina, dipende da come siamo truccate e vestite) acquisita. Se Lamalunga ci fosse anche a Torino, saresti super incaricata della mia seconda festa di laurea. A Donatella, l'amica più fedele del mondo. A Pierpaolo, lo scassacacchio più alto al mondo.

Alla mia famiglia allargata. Grazie.

INDICE

1 Introduzione 2
1.1 Contesto legislativo generale 6
1.2 Come decarbonizzare il trasporto aereo 11
2 Supporto nell'analisi e nel recepimento della normativa tecnica 17
2.1 Nel mondo 17
2.2 In Europa 24
2.3 Confronto 29
3 Analisi dei mercati e del loro sviluppo 34
3.1 Produttori di combustibili 34
3.2 Compagnie aeree 40
3.3 Aeroporti 43
3.4 Società 45
4 Analisi economiche 46
4.1 Costi di produzione 46
4.1.2 Tecnologia 46
4.1.3 Materie prime 50
4.2 Tariffe aeree 53
4.3 Proposte regolatorie per l'impiego di SAF a volumi crescenti 57
CONCLUSIONI 62
BIBLIOGRAFIA .....
SITOGRAFIA .....

1 Introduzione

La sostenibilità ambientale è un tema di gran lunga dibattuto e di vitale importanza al giorno d'oggi. Uno sviluppo sostenibile considera l'ambiente, la società e la crescita economica come tre dimensioni che viaggiano contemporaneamente, nessuna delle quali deve essere preferita alle altre. È sempre più presente la consapevolezza di dover rendere ogni processo meno impattante sull'ambiente e il più possibile *green.* Questa consapevolezza diventa via via una necessità condivisa ogni anno; il cambiamento climatico è ben visibile col passare del tempo e rende cittadini, politici, aziende e grandi operatori d'accordo sul da farsi.

L'aumento drastico delle temperature è una delle grandi preoccupazioni attuali. Secondo l'organizzazione *Global Carbon Project* (GCP), che si occupa di ricercare le quantità globali di gas serra e di trovarne le cause, è possibile stimare un 'remaining carbon budget', una quota di emissioni massima immettibile, limitando il surriscaldamento globale a 1.5-2°C in più rispetto ai livelli preindustriali.

Si considerano immettibili da gennaio 2020, dalle 500 alle 1350 gigatonnellate di CO_2 per una probabilità del 50%, mentre dalle 400 alle 1150 gigatonnellate per una probabilità del 67% di non sforare la soglia prefissa di 2°C. Secondo l'organizzazione GCP, al livello attuale di CO_2 emessa in ambiente, sono possibili solo 10 anni per cambiare rotta e arginale il riscaldamento globale a 1.5°C, che in termini di 'remaining carbon budget' conta solo per l'8% in più, rispetto al totale attualmente emesso (Global Carbon Project (2022) Carbon budget and trends 2021).

Naturalmente in questi calcoli vanno inseriti tutti i tipi di inquinanti: i gas serra sono calcolati in tonnellate di CO_2, ma ci sono diversi tipi di gas che li generano. Attraverso il GWP, global warming potential o in italiano: potenziale di riscaldamento globale di ogni elemento, è possibile riportare l'ammontare di tonnellate di CO_2 emesse, calcolate moltiplicando la massa di un determinato gas inquinante per il suo GWP. Per esempio, il metano ha un potenziale di riscaldamento globale 21 volte superiore alla semplice anidride carbonica (IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996).

Per quanto riguarda il settore dei trasporti, esso ha rappresentato il 25% delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE nel 2018 (EEA, 2021). Le emissioni di questo settore provengono principalmente dal trasporto su strada (72%), mentre il trasporto marittimo e il trasporto aereo rappresentano rispettivamente una quota del 14% e del 13% delle emissioni e la ferrovia una quota dello 0,4% (emissioni dei soli treni diesel). Oltre al loro contributo diretto al riscaldamento globale e all'inquinamento atmosferico, vengono prese in considerazione anche le emissioni che si verificano durante la produzione, la trasmissione e la distribuzione dell'energia utilizzata da treni e aerei. Il trasporto provoca anche delle emissioni non di scarico di inquinanti atmosferici, in particolare materiale particolato dovuto ad esempio all'abrasione di freni, ruote e pneumatici o binari ferroviari.

Il trasporto aereo è anno per anno aumentato, risulta che tra il 1990 e il 2018 le emissioni di gas serra derivate da voli nazionali sono aumentate del 22%, mentre per i voli internazionali la percentuale è aumentata fino al 141% (EEA, 2020). Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on

Climate Change), tra il 2010 e il 2019 il trasporto aereo è incrementato velocemente, ad un tasso medio di 3.3% l'anno (IPCC AR6 WGIII (2021))

La seguente immagine mostra le megatonnellate di CO_2 emesse nei vari anni, in blu scuro dal trasporto internazionale, in celeste quello domestico.

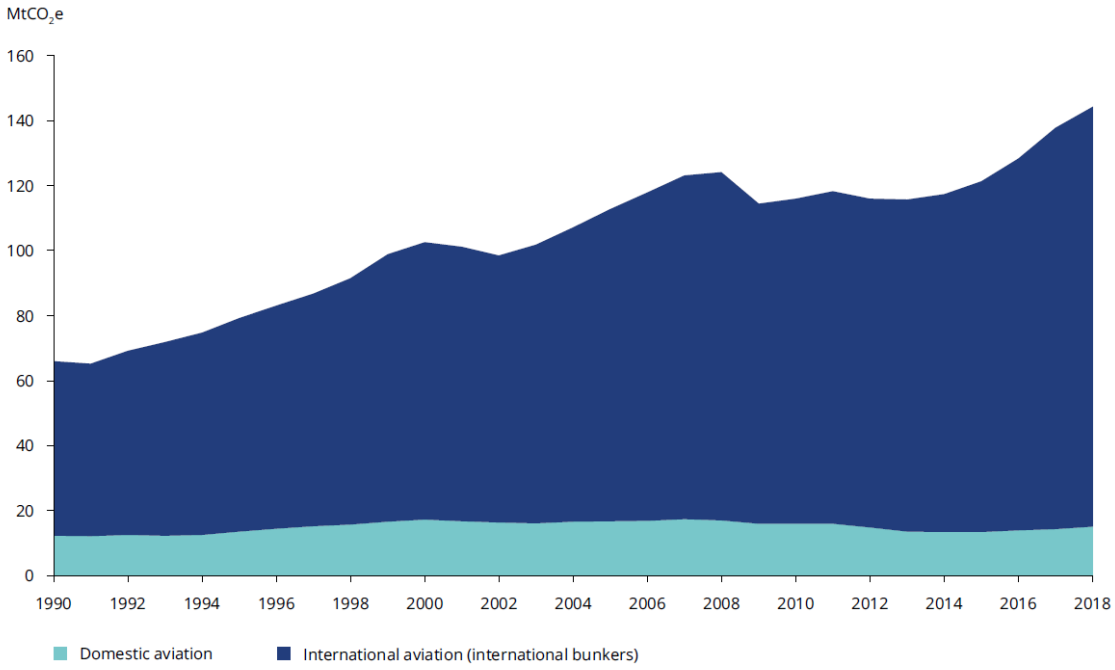

FIGURA 1-MTCO$_2$ NEI VARI ANNI PER IL TRASPORTO AEREO DOMESTICO E INTERNAZIONALE. FONTE: EEA, 2020.

La recente **pandemia di COVID-19** e i forzati lockdown, hanno generato una riduzione significativa delle attività e conseguentemente delle emissioni, nello specifico nella prima metà dell'anno 2020. Uno studio condotto da International Monetary Fund (IMF), nel giugno del 2022 mostra i livelli di emissioni avere il seguente andamento:

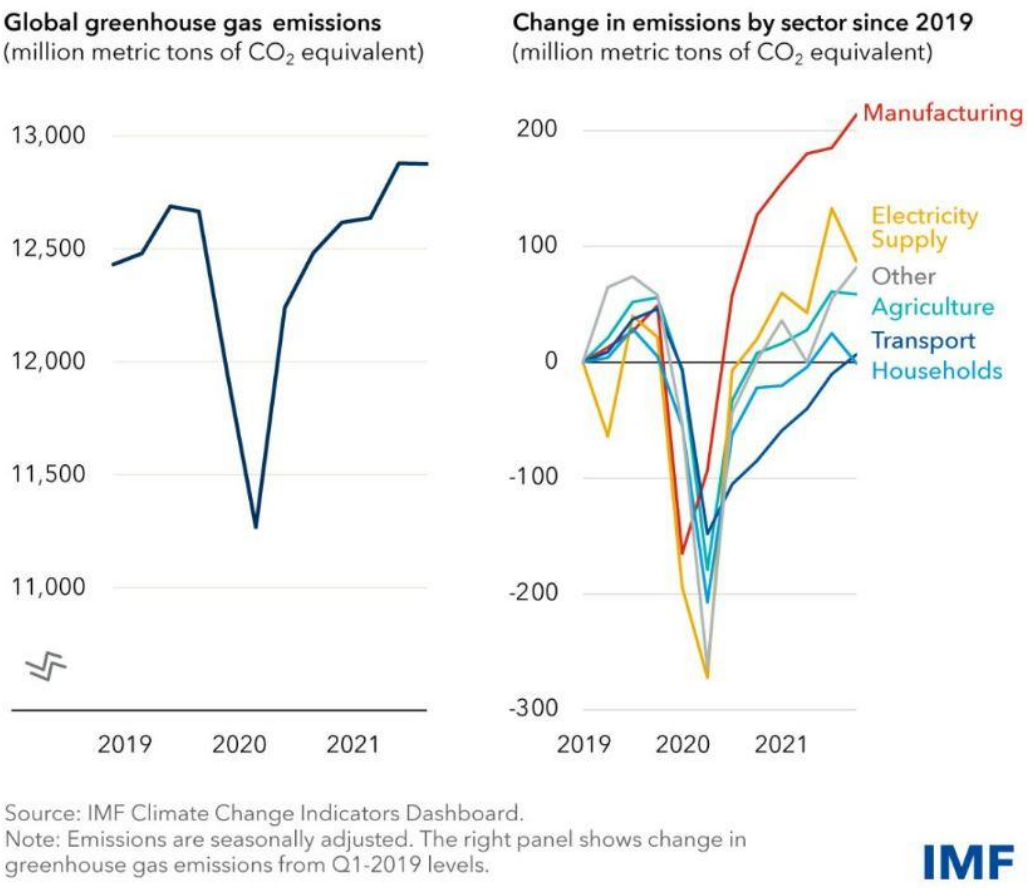

FIGURA 2-GAS SERRA MONDIALI EMESSI PRE E POST PANDEMIA. FONTE: INTERNATIONAL MONETARY FUND, 2022.

L'immagine a destra mostra l'andamento cumulato, mentre a sinistra troviamo gli andamenti per ogni settore, identificato da una scritta. In ascisse troviamo gli anni di riferimento, in ordinate sono indicate i milioni di tonnellate di CO_2. Come si può notare le emissioni si sono ridotte drasticamente nell'anno 2020, ma la loro risalita è stata veloce e repentina, fino a raggiungere e superare i livelli pre-pandemici già nell'anno 2021 (IMF, 2022).

Non c'è dubbio che il trasporto aereo sia stato molto impattato dalla pandemia da Covid-19: si parla di una riduzione di circa il 63% delle rotte percorse nel 2020, considerando proprio che è soprattutto il turismo a trainare la domanda di trasporto aereo, come attestato dalle stime della United Nations World Tourism Organization secondo cui nel 2017 il 57% del turismo internazionale ha utilizzato la modalità aerea (UNWTO, 2022). La conseguenza di questa riduzione per gli USA, per esempio, è stata di 2$ trilioni tra il 2020 e 2021.

Secondo questo studio a causa della pandemia la prima metà del 2020 considera una riduzione del 70% dei voli internazionali, in Asia a partire da gennaio, nel resto del mondo dai primi di marzo. Alla fine di questo mese, ci sono stati l'85% dei voli di linea in meno rispetto all'anno 2019, per un totale di circa 6 milioni di voli cancellati. Solo a partire da luglio 2020 è stato possibile un aumento graduale delle rotte, ma comunque voli internazionali hanno creato il 72% di emissioni in meno rispetto all'anno precedente (UNWTO, 2022).

L'importanza di questa riduzione del trasporto aereo e delle relative emissioni derivate è da riscontrare nell'impatto fortissimo che questo settore del trasporto genera sulle emissioni totali annuali emesse (il 3.4% di tutte le emissioni di gas serra).

Il trasporto aereo è quindi molto inquinante, le emissioni di gas serra per questo trasporto sono determinate certamente dalla domanda notevole e sempre in aumento, ma anche da fattori aggiuntivi (EEA, 2020), come:

- Efficienza energetica dell'aereo;
- Il tasso di occupazione;
- Gestione del traffico aereo;
- La percentuale di carburanti sostenibili utilizzati.

Considerando il forte impatto ambientale diretto del trasporto aereo, bisogna non trascurare anche quello indiretto: vari fattori e agenti non relativi a emissioni di CO_2 hanno un ruolo non meno trascurabile, i gas fluorurati (o gas refrigeranti) o in generale i SLCF (Short-lived climate factors) sono tra i più importanti. Si tratta di gas immessi in atmosfera, che rimangono per brevi periodi: da qualche giorno, al massimo un decennio. Nel settore del trasporto sono utilizzati nello specifico per il sistema di refrigerazione gli HFC (idruofluorocarburi), che causano circa il 2% delle emissioni totali di gas serra (ICAO, Appendix-S1 2022).

Secondo alcune analisi condotte dall'International Air Transport Association (IATA), la domanda di trasporto aereo è ormai in crescita da decenni per varie motivazioni: il miglioramento degli standard di vita nei paesi emergenti ed il relativo aumento del reddito pro-capite sono sicuramente alcuni dei principali. Secondo IATA, infatti, la frequenza annuale di utilizzo della modalità aerea passerebbe da 0,04 viaggi all'anno per persona per livelli di reddito bassi, a 0,27 per livelli di reddito medi (entro i $20.000) a 1,80 per livelli di reddito alti (oltre i $20.000). Il secondo fattore di crescita più rilevante è la riduzione del costo dei biglietti aerei che sono più che dimezzati dagli anni '70 ad oggi, grazie anche a nuovi operatori come Ryanair e EasyJet (IATA, 2022). Questi ultimi presentano un approccio di business innovativo basato sull'hub-and-spoke (scali secondari e utilizzo di diversi piccoli aeroporti intermedi) piuttosto che sul tradizionale point-to-point (spostamenti diretti) (IATA, www.iata.org/pax-forecast).

Uno studio condotto da IPCC nel 2019 mostra i 20 più grandi emettitori di gas serra, tra cui al primo posto Iran, a seguire Repubblica Islamica e Cina. Analogamente sono calcolati i livelli di emissioni GHG pro-capite e gli Stati più inquinanti per singolo abitante risultano Australia, Arabia Saudita, Canada e USA (IPCC, 2021).

In questo contesto si inserisce questa trattazione: l'impatto che il trasporto aereo genera sull'ecosistema, modi e soluzioni alternative che ne permetterebbero il miglioramento e i vari obblighi e normative in vigore attualmente.

Partiamo nel delineare il contesto generale e le normative in atto.

1.1 Contesto legislativo generale

Sono stati vari i cambiamenti e le evoluzioni politiche e sociali che hanno riguardato la sostenibilità ambientale. Si può pensare all'anno **1988** come il primo in cui ci sia stato effettivamente un cambio di rotta per il cambiamento climatico, con la **Conferenza di Toronto**. A questo avvenimento risalgono i primi tentativi di cooperazione internazionale per la risoluzione al problema delle emissioni di CO_2: 85 partecipanti concordano sulla necessità di ridurre le emissioni del 20% entro il 2005, rispetto ai valori registrati nel 1988.

In seguito con la **Conferenza di Kyoto** del **1997** si stabilì l'entità della riduzione delle emissioni da raggiungere entro il 2012, rispetto ai valori del 1990. Per tutti i Paesi membri dell'Unione Europea, questo Protocollo impose una riduzione dell'8% delle emissioni di gas serra.

Più recentemente nel **2005** è stato istituito l'**EU-ETS** (EU Emission Trading System), il primo e al momento ancora il più grande sistema internazionale per lo scambio di quote di emissione. È attivo in 31 paesi, di cui 28 dell'UE e in aggiunta Islanda, Liechtenstein e Norvegia. Questo sistema limita le emissioni prodotte da più di 10000 impianti ad alto consumo di energia e alcune compagnie aeree, per un totale di circa il 40% delle emissioni totali di gas ad effetto serra europee (ISPRA, 2020).

L'EU-ETS prevede quattro fasi:

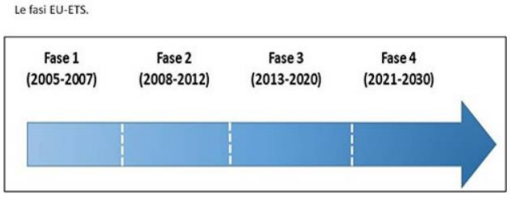

FIGURA 3-LE TRE FASI DELL'EU ETS. FONTE: ISPRA, 2019

Le prime due fasi prevedono limiti alle emissioni nazionali, la terza fase considera un unico limite alle emissioni per tutta l'Unione Europea mentre la quarta un unico limite decrescente ogni anno del 2.2%. L'EU-ETS opera secondo il principio del "*Cap and Trade*". Viene fissato quindi un limite, stabilendo la quantità massima che può essere emessa dagli impianti che rientrano nel sistema. Entro questo limite, le imprese possono acquistare o vendere quote in base alle loro esigenze. Attualmente ci troviamo nella quarta fase, iniziata nel luglio del 2021 con la pubblicazione sull'*Official Journal* della commissione europea della cosiddetta "European Climate Law", una legge che, per soddisfare gli obbiettivi prefissati nell'European Green Deal (di cui si parlerà più avanti), impone la riduzione netta dei gas serra di almeno il 55% entro il 2030, in confronto ai livelli di emissioni del 1990 (Sito Ufficiale della Commissione Europea https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_it). Una novità di questo sistema, che si differenzia dalle normative mondiali stanziate dall'ICAO, è il divieto di usare compensazioni, se il limite viene sforato l'unica soluzione è una multa di 100€/tonnellata per CO_2 emesse in eccesso.

Più recentemente, il **23 ottobre del 2014 il Consiglio Europeo** approva quattro obiettivi (Consiglio Europeo, 2014. Osservazioni di Herman Van Rompuy, presidente del Consiglio europeo, a seguito del Consiglio europeo del 24 ottobre 2014):

- un obiettivo UE vincolante di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra almeno del 40% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990;

- un obiettivo per la quota di fonti energetiche rinnovabili consumate nel 2030 almeno del 27%;

- un miglioramento dell'efficienza energetica del 27% rispetto alle proiezioni;

- il completamento del mercato interno dell'energia realizzando un obiettivo minimo del 10% per le interconnessioni elettriche esistenti entro il 2020, almeno rispetto alle isole energetiche, in particolare gli Stati baltici e la penisola iberica.

Dal 30 novembre al 12 dicembre **2015** si svolge a **Parigi la conferenza sul clima**. I principali obiettivi ed elementi dell'accordo di Parigi sono (Consiglio Europeo, Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici):

- obiettivo di lungo termine: limitare il riscaldamento globale "ben al di sotto" dei 2ºC, proseguendo gli sforzi per mantenerlo entro 1.5°C, per conseguire tale obiettivo, le parti si sono proposte di stabilizzare quanto prima le emissioni di gas a effetto serra a livello mondiale e di conseguire l'obiettivo di zero emissioni nette nella seconda metà del secolo;

- contributi di ogni stato aderente: fornire un piano adeguato alla riduzione delle proprie emissioni e comunicare ogni 5 anni i loro sviluppi ed eventuali miglioramenti per avere maggiore trasparenza;

- solidarietà: gli stati aderenti sviluppati si impegnano ad aiutare finanziariamente stati in via di sviluppo per la loro riduzione delle emissioni.

L'accordo di Parigi entra in vigore il 4 novembre 2016, firmato da 55 paesi responsabili di almeno il 55% delle emissioni totali annuali. Purtroppo, a quasi otto anni dalla sua ratifica, la tendenza complessiva non è particolarmente incoraggiante: le emissioni globali nel 2015 e 2016 sono rimaste costanti, negli anni successivi sono tornate a crescere, per poi ridursi drasticamente negli ultimi due anni, ma solo a causa della pandemia da COVID-19. Inoltre, Australia e Brasile si sono ritirati dall'accordo, a dimostrazione della precarietà e instabilità degli accordi internazionali, mentre gli Stati Uniti, che avevano inizialmente aderito, sono venuti meno nel 2018, per poi siglare nuovamente l'accordo nel 2021.

La più grande limitazione dell'Accordo di Parigi è la restrizione all'ambito domestico, infatti l'accordo si occupa di definire gli obblighi a livello nazionale, perciò le emissioni derivanti dal trasporto aereo internazionale non sono in questa sede normate (IPCC AR6 WGIII (2021)).

Nell'anno **2016** viene approvato il **CORSIA**, Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. Si tratta di uno schema internazionale previsto dall'ICAO di regolazione delle emissioni di CO_2 per i voli internazionali, in quanto quelli nazionali sono inclusi invece nelle azioni delle National Determined Contributions (NDC), ovvero piani nazionali non vincolanti.

Si considerano 3 fasi distinte per il CORSIA:

- fase pilota dal 2021 al 2023, con partecipazione volontaria;
- prima fase dal 2024 al 2026, con partecipazione volontaria;
- seconda fase dal 2027 al 2035, con partecipazione obbligatoria per tutti gli Stati partecipanti.

Gli operatori interessati da questo schema devono presentare le seguenti condizioni:

a. l'operatore è dotato di un COA, certificato operatore aereo, rilasciato dal suo Stato di riferimento;

b. è presente almeno un aeroplano che superi i 5700 kg, i quali effettuano voli internazionali (decollano in uno Stato e atterrano in uno diverso, secondo la definizione ICAO);

c. i voli internazionali comportano emissioni di CO_2 annue maggiori a 10000 tonnellate (voli per operazioni umanitarie, mediche o antincendio non rientrano nel calcolo delle emissioni CORSIA).

In Europa i quadri normativi che stabiliscono le linee guida per la definizione dei carburanti sostenibili sono contenuti nel decreto **RED II** (Renewable Energy Directive), la direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre **2018**. Con questa direttiva, si cerca di concretizzare e definire norme trasparenti e chiare per il calcolo della quota di energia da fonti rinnovabili e per definire le fonti stesse. Dispone che gli Stati membri dell'UE facciano in modo, nel 2030, di aumentare la quota di energia rinnovabile, calcolata nel consumo finale lordo, al 32%, mentre la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti ad almeno il 14% (https://temi.camera.it/leg18/post/i-principali-contenuti-della-direttiva-red-ii.html). Le norme contenute nella direttiva, che portino gli Stati membri a raggiungere questo obiettivo, si concretizzano con sostegni finanziari, cooperazione tra stati membri, e non, per progetti sulla produzione di energia rinnovabile e infine garanzie di origine dell'energie rinnovabili.

In seguito, l'11 dicembre **2019** la Commissione europea ha pubblicato "**Il Green Deal Europeo**", un pacchetto di iniziative con lo scopo di avviare l'Unione Europea sulla strada di una **transizione verde**, per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. I settori interessati da questo pacchetto sono svariati, dall'agricoltura alla finanza, trasporti e industrie. Per concretizzare questo pieno, nel dicembre del 2020 la commissione europea ha adottato la strategia "**Sustainable and Smart Mobility**", che cerca di mettere le basi per diminuire l'impatto ambientale di ogni tipo di trasporto e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, con la riduzione del 90% delle emissioni di CO_2.

Per raggiungere gli obiettivi del Green Deal Europeo, nel **luglio del 2021** è stato approvato il pacchetto "**Fit for 55**" con lo scopo di allineare la legislazione dell'Unione Europea agli obiettivi climatici prefissati due anni prima. Per quanto riguarda il trasporto aereo, in questa sede sono state effettuate modifiche e revisioni delle norme sulle emissioni e nello specifico è stato proposto il **RefuelEU Aviation**.

Si tratta di un'iniziativa dell'UE che mira ad agevolare la decarbonizzazione del settore aereo, grazie a una serie di provvedimenti che favoriscano la produzione e adozione di carburanti da fonti rinnovabili, sulla scia di quello che in precedenza era stato effettuato per il settore del trasporto marittimo. La proposta risulta però più ambiziosa, poiché considera non solo l'utilizzo di fonti rinnovabili al posto dei tradizionali combustibili fossili (cercando il più possibile di introdurre carburanti sostenibili, i cosiddetti SAF), ma valuta la realizzazione di veri e propri aeroporti "green" meno inquinanti, basandosi perciò su tecnologie in fase di sviluppo che comprendano aeroporti e aerei innovativi.

Questa proposta considera una diminuzione dei combustibili utilizzati in aviazione pari al 3-8% entro il 2030, per arrivare a quasi il 68% entro il 2050, in linea con gli obiettivi del Green Deal Europeo (European commission 2021, RefuelEU Aviation).

Ci si rende quindi conto che sono diverse le **autorità internazionali** per la regolamentazione dell'aviazione: l'ICAO è l'organizzazione internazionale dell'aviazione civile, ha sede in Canada e la sua area di azione comprende tutto il mondo. Ha promosso il pacchetto CORSIA, da gennaio 2018 hanno aderito volontariamente 70 Paesi, per più dell'85% dell'attività mondiale aerea. A partire dal 2027, con l'ultima fase del progetto, il programma CORSIA diventerà obbligatorio globalmente. La seconda fase non è considerata invece obbligatoria per gli stati insulari e quelli in via di sviluppo.

Il programma sviluppato in ambito europeo è l'EU-ETS, attivo in 28 Paesi europei più altri 3 extraeuropei (Islanda, Liechtenstein e Norvegia). Il CORSIA e l'EU-ETS sono quindi destinati a sovrapporsi per gli stati europei in maniera obbligatoria, per chi non avesse attualmente ancora aderito, a partire dall'anno 2027.

Una timeline degli avvenimenti sopra descritti è visibile qui sotto:

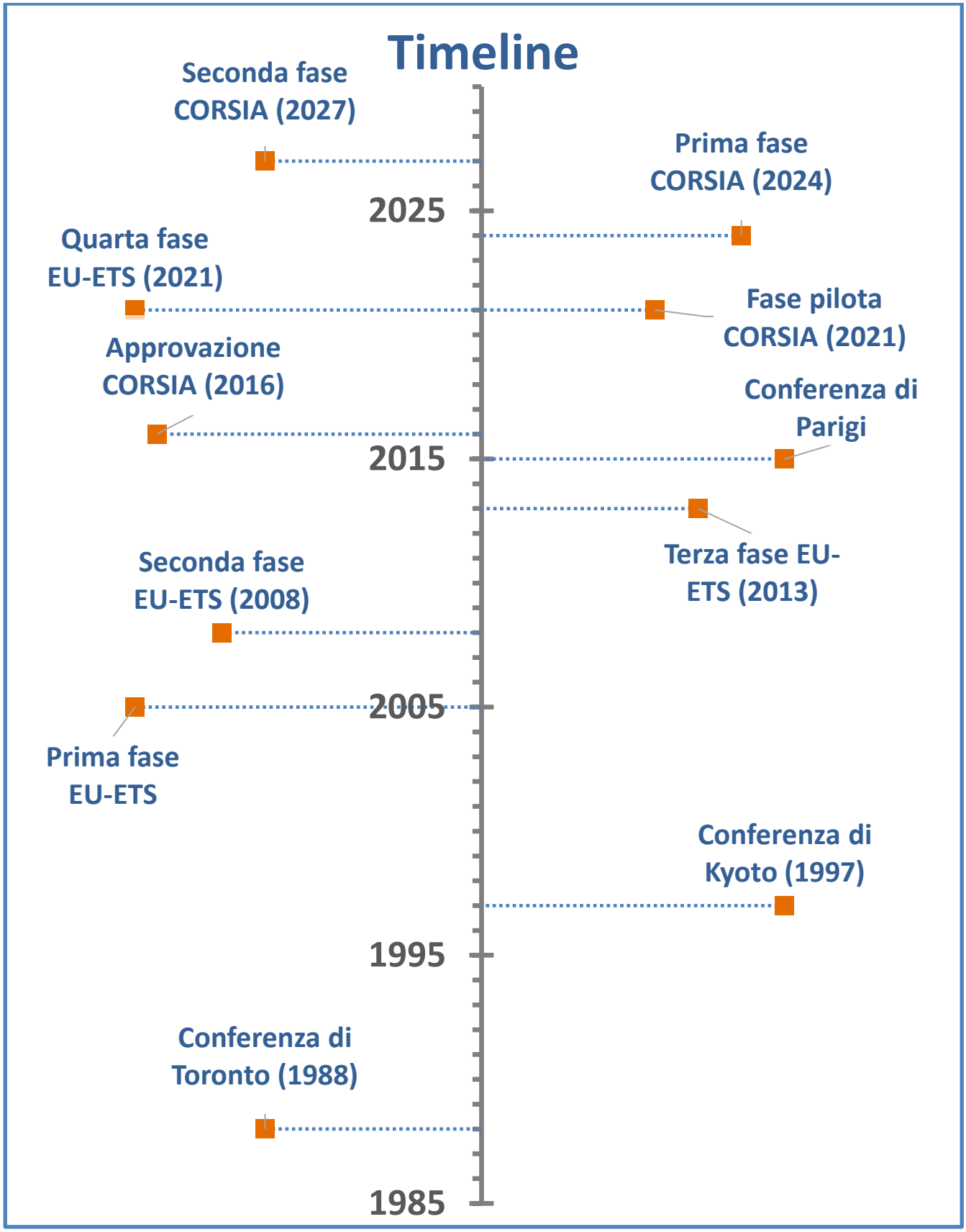

FIGURA 4-TIMELINE. FONTE: ELABORAZIONE PROPRIA

1.2 Come decarbonizzare il trasporto aereo

Nel 2019 il traffico aereo in Italia ha emesso 2.4 milioni di tonnellate di gas serra, pari allo 0,6% delle emissioni nazionali complessive, considerando esclusivamente le rotte totalmente effettuate in territorio italiano. A questa cifra si aggiungono le ulteriori emissioni dirette relative al trasporto aereo internazionale, stimate a 11,9 milioni di tonnellate di CO_2 (ISPRA (2021)).
Attualmente l'elemento utilizzato nel trasporto aereo è il cherosene di origine fossile. La più grande sfida risulta perciò la sua sostituzione a vantaggio di carburanti sostenibili, con l'obiettivo di decarbonizzare il settore.
Il cherosene combina due proprietà ideali per il volo: una densità energetica molto elevata e la capacità di rimanere liquido fino a -47 °C, che è la temperatura dell'atmosfera attorno ai 10.000 m, cioè alle quote di crociera dei velivoli, rendendo così possibili voli intercontinentali senza interruzioni, per una durata pari ad oltre 20 ore.
Dato il fitting praticamente perfetto di questo combustibile per lo scopo del volo aereo, la sua sostituzione a favore di elementi meno impattanti e quindi il processo di decarbonizzazione risultano complessi, le soluzioni al momento sono varie ma dipendono dalle tecnologie disponibili. Col miglioramento di quest'ultime sarà possibile ridurre notevolmente le emissioni e pensare a soluzioni innovative e decisamente meno impattanti.

Al momento, senza considerare cambiamenti strutturali notevoli e tecnologie all'avanguardia, le opzioni da intraprendere per la riduzione del consumo energetico necessario a intraprendere un volo, che sia nazionale o internazionale, potrebbero considerare (European commission 2021, RefuelEU Aviation):

a. la riduzione del peso dei velivoli (utilizzando materiali di costruzione diversi)
b. miglioramenti di efficienza energetica dei sistemi di propulsione
c. miglioramento aerodinamico
d. ottimizzazioni in fase di atterraggio e decollo, con l'obiettivo di ridurre i tempi di attesa

Per rendere possibile il trasporto aereo sul lungo raggio in un'ottica di decarbonizzazione, l'opzione di diversificazione energetica e decarbonizzazione oggi realizzabile è impiegare **combustibili alternativi** analoghi al cherosene, ma ottenuti da materie prime non fossili, nel rispetto di criteri chiave di sostenibilità e fattibilità. Si parla di biocarburanti: numerosi studi di valutazione del ciclo di vita (LCA) hanno preso in considerazione il cambiamento climatico e l'effetto dei GHG, mentre altri si sono concentrati sugli impatti ambientali dei biocarburanti. Tuttavia, i loro risultati sono spesso contrastanti, con un'ampia variazione nelle stime. È evidente che i risultati degli studi dipendono da molti fattori, tra cui il tipo di materia prima, i percorsi di produzione, le variazioni dei dati e le scelte metodologiche. Nonostante ciò, le prove esistenti suggeriscono che, se non è coinvolto alcun cambiamento nell'uso del suolo (LUC, land-use-change), i biocarburanti di prima generazione possono avere emissioni di GHG inferiori rispetto ai combustibili fossili (Environmental sustainability of biofuels, 2020).

Il problema principale di questi combustibili è sicuramente il loro **costo**, per questo si considera una miscela per aumentarne la capacità di produzione e diminuirne i costi nel tempo. Questo è sicuramente necessario se si prende atto del fatto che per il 2030 questi combustibili dovranno

ricoprire il 5% dei carburanti e il 63% nel 2050, secondo le normative in vigore al momento (in particolare il pacchetto Fitfor55) e quelle future al momento considerate.
Risulta perciò fondamentale un miglioramento delle tecnologie a supporto di questo processo, in maniera tale da incontrare la domanda di mercato (che aumenterà a causa degli obblighi posti verso i vari operatori) e gli obiettivi che i vari governi si sono prefissati.

I SAF (Sustainable Aviation Fuel) che vengono considerati nel pacchetto RefuelEU Aviation, si dividono in tre macrogruppi: Biofuel, Advanced Biofuel, RFNBO. Si tratta di una scelta di policy basata sul soddisfacimento di questi carburanti di 5 criteri: sostenibilità, quanto il mercato è pronto ad accoglierli, disponibilità di materie prime, costi di produzione e possibilità di inserimento in accordo con le regolamentazioni.
Secondo questi 5 criteri, i suddetti SAF presentano la più alta potenzialità di sfruttamento per la decarbonizzazione del trasporto aereo, grazie ai loro costi ragionevoli e la disponibilità sufficiente di materie prime.
Di seguito una breve spiegazione dei SAF nominati e di altri mezzi capaci di decarbonizzare:

1. **Biocarburanti di prima generazione**: utilizzano materie prime provenienti da colture agricole ed utilizzano come materia prima il mais, la soia, le barbabietole da zucchero, la canna da zucchero o altri oli vegetali o animali. Questi carburanti riscontrano problematiche di carattere etico ed ambientale, infatti la coltivazione di materie prime per la produzione di questi combustibili potrebbe aumentare la deforestazione dei terreni implicando una riduzione dell'assorbimento di CO_2. A questo aspetto si aggiunge la possibilità che alcuni terreni destinati alle colture alimentari vengano destinati alla produzione di carburante sostenibile con conseguente aumento del prezzo della materia prima destinata al commercio alimentare. Si potrebbe utilizzare come materia prima alimentare solo quella di scarto, ma in quel caso il quantitativo sarebbe molto ridotto al fine del soddisfacimento della domanda.
   Altre materie utilizzate (European commission 2021, RefuelEU Aviation):

   - Alghe
   - Paglia
   - Bagassa
   - Gusci di noci
   - Bucce di cibo
   - Altri materiali non cellulosi
   - Grassi animali

   Gli oli animali utilizzati per la produzione di questi combustibili nel 2019 è stato pari al 25% e si stima che in futuro questa percentuale crescerà fino ad arrivare al 28%. Questa percentuale è molto elevata e genera non pochi problemi etici, creando disagi dal punto di vista della biodiversità.

2. **Advanced Biofuel**: chiamati anche biofuel di seconda generazione e terza generazione. Essi non provengono da materie edibili, ma da colture legnose, residui agricoli o rifiuti, nonché colture energetiche non alimentari dedicate coltivate su terreni marginali non idonei alla produzione alimentare. In questo primo caso si parla di seconda generazione, oppure se provengono da microalghe (come il biodiesel), vengono definiti di terza generazione.

Conservano le caratteristiche positive dei biocarburanti di prima generazione e ne migliorano quelle negative. Non si riscontrano problematiche relative all'utilizzo del terreno e all'aumento dei prezzi delle derrate alimentari, per questo si elimina il problema etico di disboscamento o eccessivo utilizzo di oli animali. La deforestazione non risulta un nodo critico, poiché si utilizza il legno proveniente da materiali di scarto, per quanto riguarda la terza generazione, le microalghe vengono coltivate su terreni non seminati o acque reflue, saline o salmastre, con la possibilità di crescita molto rapida. Attualmente la ricerca sui materiali ligneo-cellulosi per la produzione di bio-jet sta proseguendo, si cercano nuove materie prime e nuovi possibili percorsi di conversione (Transport environment (2020)), (Environmental sustainability of biofuels, 2020).

Nello specifico, fanno parte di questa categoria

- residui da silvicoltura e industrie che operano utilizzando materiali derivanti dalle foreste; rami, foglie, parti di alberi, segature e materiali lignei.
- Microalghe.

Entrambi i biofuel, di seconda generazione e terza generazione, sono destinati a un grande utilizzo negli anni, ma i primi in maniera maggiore, grazie alla loro possibilità di ridurre maggiormente le emissioni dato che le microalghe necessitano di molta energia per la loro trasformazione e al momento, in assenza di economie di scala e tecnologie adeguate, economicamente fuori portata.

3. **RFNBO**: Renewable Fuels of Non-Biological Origins. Questi nuovi combustibili sostenibili hanno un potenziale di decarbonizzazione del settore molto elevato, ma presentano problemi di disponibilità e di difficoltà di reperimento al momento, dato che necessitano di tecnologie all'avanguardia. Non sono considerati SAF (Sustainable Aviation fuel), poiché non sono drop-in fuels, ovvero necessitano di adattamenti per essere introdotti nel trasporto aereo. I SAF invece sono quasi identici ai combustibili tradizionali, possono essere mischiati semplicemente variando le temperature, ma non necessitano adattamenti specifici per i motori o l'aereo. (IATA, https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf)

   Gli RFNBO sono ottenuti tramite la conversione di elettricità rinnovabile (ottenuta da pale eoliche o pannelli solari) in idrocarburi liquidi, tramite elettrolisi dell'acqua.
   Si tratta di produzione e commercializzazione di idrogeno verde. Le premesse per questi combustibili sono molto buone: la produzione su larga scala è molto facile e una volta implementati i giusti processi, il costo non risulta esageratamente eccessivo.
   Al momento la più grande sfida è quella tecnologica: non esistono in commercio velivoli in grado di viaggiare con un peso tale e con la possibilità di stoccaggio di grandi quantità per voli lunghi, per questo attualmente i costi di implementazione sono molto elevati, a confronto con l'utilizzo dei SAF, utilizzabili senza grandi modifiche dei serbatoi attualmente in uso sugli aeroplani (chiamati drop-in per questo motivo). Perciò si considera che questo tipo di combustibile avrà un grande successo anche per il trasporto su strada e movimentazione di mezzi su ruota (European commission 2021, RefuelEU Aviation). Una proposta per questa tipologia di SAF è il loro utilizzo in piccoli aerei, con capacità massima di 50 passeggeri, che percorrano brevi tratti (Sahoo e altri, 2020). Il problema è il loro limitato utilizzo, aerei di questo tipo sono poco comuni e ricoprono solamente il 12% di tutte le emissioni di CO_2 attualmente emesse.

Per riassumere le caratteristiche dei tre carburanti sostenibili (European commission, Annex 8 – Criteria for policy choice on SAF):

- Sostenibilità: naturalmente tutti e tre sono altamente sostenibili, i biofuel di prima generazione permettono di ridurre le emissioni di CO_2 dell'85% se si utilizzano oli vegetali, mentre con gli oli animali il 76%.
  I biofuel di seconda generazione permettono un risparmio del 94% di emissioni se si considerano residui lignei e cellulosi, il 91% con i rifiuti organici non edibili.
  I più sostenibili risultano gli RFNBO, dato che il punto di inizio è anch'esso sostenibile, con la creazione di energia rinnovabile, negli altri casi si ipotizzava l'utilizzo di scarti di materie prime e il loro riutilizzo.

- Preparazione del mercato: i biofuel di prima generazione sono già di facile accesso, il mercato è già maturo ed è possibile commercializzare su larga scala. I biofuel di seconda generazione e terza generazione sono nella fase pilota, ci sono continue evoluzioni e aggiornamenti e si crede che in tempi brevi possano affiancare i biofuel di prima generazione per il trasporto aereo.
  Per quanto riguarda i RFNBO, questi considerano tempi lunghi di sviluppo. Necessitano di tecnologie avanzate e cambi totali per il serbatoio e i materiali utilizzati per la creazione degli aerei.

- Disponibilità delle risorse: i biofuel di prima generazione sono limitati da una bassa reperibilità di materie prime, soprattutto poiché è presente una forte competizione con altri settori, di trasporto e non, come sopra accennato per il Used Cooked Oil (UCO).
  Gli advanced biofuel hanno disponibilità nettamente superiori, dato che considerano scarti lignei, da agricoltura e rifiuti organici, ma possono scontrarsi con la necessità di essere condivisi con il settore marittimo.
  Gli RFNBO si basano teoricamente su una disponibilità di energia illimitata, dato che viene generata da pale eoliche e pannelli solari.

- Costi: risultano di gran lunga superiori i costi di implementazione e sviluppo delle tecnologie per la creazione degli RFNBO, con un prezzo che viaggia intorno alle 3-6 volte superiori agli attuali combustibili tradizionali.
  I biofuel di prima generazione si aggirano intorno al doppio dei carburanti fossili, mentre gli advanced biofuel sono circa 2-4 volte superiori.

  Una tabella riassuntiva è disponibile di seguito:

	Biofuel di prima generazione		Biofuel di seconda generazione		RFNBO
	Oli vegetali	Oli animali	Legno	Biomassa	
Sostenibilità	85%	76%	94%	91%	fino al 100%
Mercato	Maturo		Fase pilota		Fase di sviluppo

Disponibilità	Bassa e in condivisione con trasporto su ruote	Alta ma in condivisione con settore marittimo	Illimitata ma bloccata fino al 2050
Costo	Doppio rispetto al combustibile fossile	Due o quattro volte di più del combustibile fossile	Fino a 6 volte maggiore

TABELLA 1-PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI SAF E RFNBO. FONTE: EUROPEAN COMMISSION, REFUELEU 2021 (DATI SUL MERCATO, LA DISPONIBILITÀ E IL COSTO), ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF BIOFUELS: A REVIEW, 2020 (DATI SULLA SOSTENIBILITÀ).

È ormai evidente che la decarbonizzazione del trasporto aereo si basa e si baserà sulle biomasse e sui SAF, però è anche vero che al momento le risorse sono poche, i costi sono alti e per lo sviluppo bisogna considerare ingenti fonti e tempo per lo sviluppo delle adeguate tecnologie. Uno dei primi passi per la commercializzazione dei nuovi carburanti nel trasporto aereo deve considerare la certificazione ASTM, American Society for Testing Materials, che al momento presenta le seguenti norme (Chiaramonti, D. (2019)):

- ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels;
- ASTM D7566 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons;
- ASTM D4054 Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives.

ASTM ha certificato, per il momento, sette diversi tipi di SAF (ottenibili con 5 possibili tipologie di conversione), i quali possono e vengono utilizzati con una percentuale variabile di miscela, tra il 10% e il 50% (Chiaramonti, D. (2019)).

Per semplificare le nomenclature comunemente si utilizzano due tipologie distinte: i biocarburanti di "prima, seconda e terza generazione" e "convenzionali e avanzati". I biocarburanti prodotti da colture alimentari o per mangimi sono indicati come biocarburanti di prima generazione. Poiché i biocarburanti di prima generazione sono prodotti attraverso tecnologie e processi consolidati, come la fermentazione, la distillazione e la transesterificazione, sono anche comunemente indicati come "biocarburanti convenzionali".

Per quanto riguarda i biocarburanti di seconda generazione, questi derivano da materie prime non alimentari, come colture energetiche dedicate (ad es. miscanto, panico verga, bosco ceduo a rotazione rapida (SRC) e altre piante lignocellulosiche), residui agricoli, residui forestali e altri rifiuti materiali (es. UCO e rifiuti solidi urbani). Il biodiesel prodotto dalle microalghe attraverso l'idro-trattamento dell'olio di alghe è comunemente noto come biocarburante di terza generazione. I biocarburanti di seconda e terza generazione sono spesso indicati come "biocarburanti avanzati" (advanced biofuel) poiché le loro tecniche o percorsi di produzione sono ancora nella fase di ricerca e sviluppo.

I biocarburanti di seconda generazione hanno, in generale, un maggiore potenziale di riduzione delle emissioni, a condizione che non vi sia LUC (no land-use-change). I biocarburanti di terza

generazione non rappresentano un'opzione praticabile allo stato attuale di sviluppo poiché le loro emissioni di gas serra sono superiori a quelle dei combustibili fossili, se si considera che i principali difetti includono un elevato consumo di energia nelle fasi di coltivazione, raccolta ed essiccazione. Diversi studi mostrano che le riduzioni delle emissioni di GHG dai biocarburanti si ottengono a scapito di altri impatti, come l'acidificazione, l'eutrofizzazione, l'impronta idrica e la perdita di biodiversità (Environmental sustainability of biofuels, 2020).

Uno studio dell'ICCT, International Council on Clean Transportation, stima la produzione dei SAF nei vari anni, divisa per materia prima utilizzata e caso ottimistico e pessimistico. Questa analisi mostra la differenza di impiego negli anni 2025 e 2035, all'inizio i SAF sono di origine alimentare e quindi di prima generazione, con piccole percentuali di seconda generazione e utilizzo di gas di scarico, con l'avanzare delle tecnologie e degli anni maggiore diventa la percentuale di SAF derivante dalla seconda generazione nel caso ottimistico, mentre nel caso pessimistico le tecnologie non evolvono, rendendo possibile maggiormente la creazione di carburanti sostenibili dagli oli vegetali e animali e in minima parte dagli RFNBO (ICCT WORKING PAPER, 2021-13).

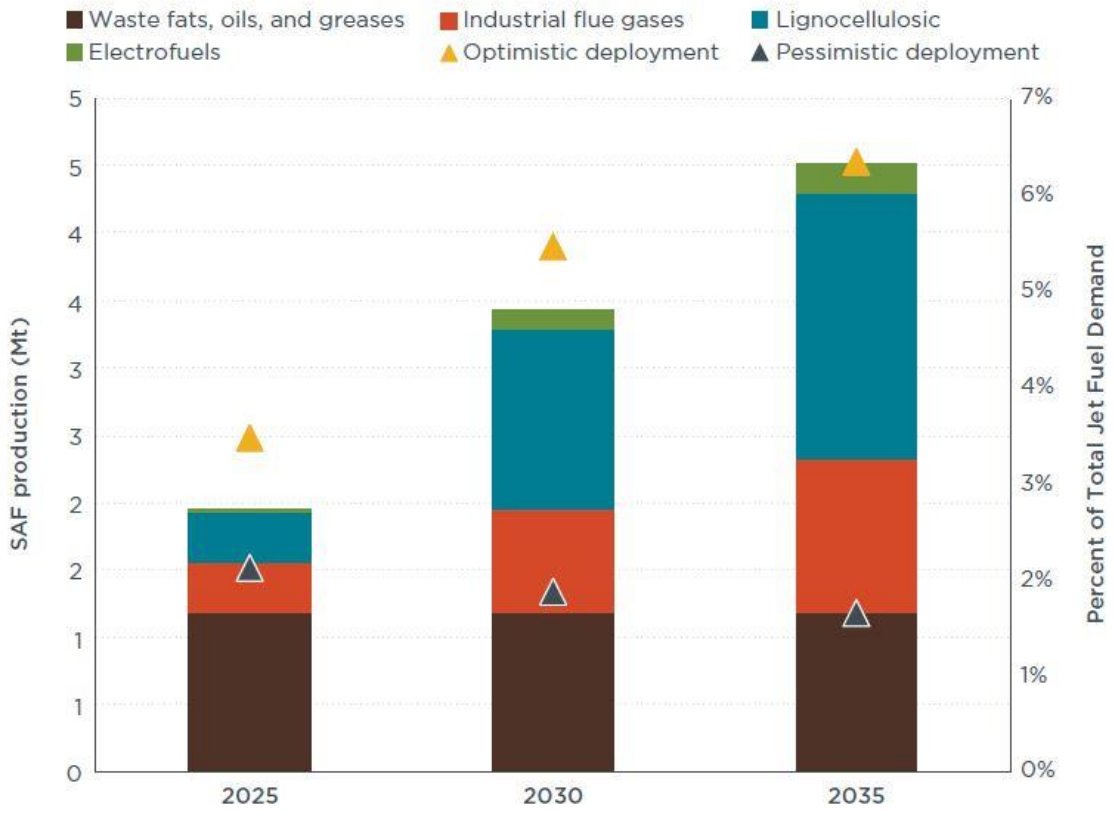

FIGURA 5-PRODUZIONE IN PERCENTUALE E MT DI SAF NEGLI ANNI. FONTE: ICCT, 2021

2 Supporto nell'analisi e nel recepimento della normativa tecnica

2.1 Nel mondo

Molte sono le normative in vigore attualmente in Italia, alcune nazionali, altre europee e altre ancora internazionali e mondiali.
L'ente internazionale che regola globalmente l'aviazione civile è l'**ICAO**, si occupa di regolare il settore del trasporto aereo e di sviluppare i principi e le tecniche della navigazione aerea.
L'ente internazionale ha sviluppato un piano di lungo termine (LTAG: long term aspiration goal), che considera 4 scenari diversi, a seconda dell'evoluzione della tecnologia e dei vari SAF (ICAO, LTAG Report Appendixes R3, 2022):

1) IS0: Integrated Scenario 0. Non ci sono sviluppi nella tecnologia, nelle opportunità e nei tipi di combustibili. Il mercato cambia solo per soddisfare la domanda e non ci sono riduzioni nelle emissioni dei gas ad effetto serra

2) IS1: Integrated Scenario 1. Non ci sono cambi sostanziali nell'infrastruttura e gli sviluppi nella tecnologia non esulano dalle aspettative momentanee di miglioramento del 2022. Il gruppo ASTM sviluppa nuove metodologie per un miscelaggio del SAF pari almeno al 50%. La riduzione delle emissioni non sono significative e derivano soprattutto dall'utilizzo dei biofuel di prima e seconda generazione.

3) IS2: Integrated Scenario 2. Il cambio dell'infrastruttura è limitato ma presente: diverse normative sono state implementate e ci sono stati sviluppi nelle tecnologie, ASTM sviluppa metodologie per il miscelaggio dei SAF quasi al 100%. Si prevede un utilizzo maggiore dell'elettrificazione e dell'idrogeno, quindi RFNBO, permettendo un risparmio delle risorse lignee e oli vegetali e animali, a favore di energia sostenibile nuova.

4) IS3: Integrated Scenario 3. L'ultimo scenario è quello che considera uno sviluppo al limite delle potenzialità, considerato quasi aggressivo o "speculativo". Il risparmio delle emissioni è massimo, le tecnologie presenti sono all'avanguardia e permettono l'utilizzo di RFNBO e idrogeno criogenico.

L'analisi svolta dall'ICAO è compatibile con l'obiettivo di limitazione dell'aumento della temperatura a 1.5 o massimo 2°C rispetto ai livelli preindustriali, secondo le definizioni mondiali. Sono tre i modi in cui si possono **calcolare le emissioni** e in base al risultato effettuare poi delle decisioni (ICAO, LTAG Report Appendixes R3, 2022):

- **Emissioni di CO2 cumulate in un dato periodo.** In questo caso le emissioni che possono derivare dal trasporto aereo si aggirano intorno a un range di 1.1%-2% se si considera una limitazione a 1.5 °C, mentre aumenta a quasi 3.1%-5.6% con 2°C, a seconda che si ipotizzi uno scenario integrato o l'altro (ricordando i 4 sopra specificati). Questo avverrebbe nell'anno 2050, mentre

nel 2070 le percentuali sono destinate a diminuire, per poter mantenere la soglia di aumento di temperatura.

Questo calcolo è rilevante per scopi soprattutto scientifici, dato che le emissioni di CO_2 possibili sono approssimativamente linearmente proporzionali alla media della temperatura superficiale terrestre. Il problema sussiste nell'approssimazione di quante emissioni sono lasciate al trasporto aereo, molto spesso sovrastimate poiché l'evoluzione della tecnologia nel 2050 è destinata a fermarsi e non continuare come invece i calcoli ipotizzano.

Si consideri comunque che in totale il trasporto aereo ha generato dal 1940 circa 33.7 miliardi di tonnellate di CO_2, che sono circa 1.5% di tutte le totali emesse globalmente da qualsiasi fonte a partire dal 1750. Un dispendio energetico inimmaginabile per il solo settore dell'aviazione.

Il massimo cumulativo possibile di emissioni di CO_2 generabili, partendo dall'anno 2020 e per non superare 1.5°C dai livelli preindustriali, sono con una probabilità del 67% 400 Gigatonnellate di CO_2. Per la soglia dei 2°C invece sono circa 1150 Gigatonnellate di CO2, con la stessa probabilità.

Nello scenario IS0 se ne considerano 28 per l'aviazione per il periodo 2020-2050, ovvero il 2.4% del totale per la soglia dei 2°C e il 7% per 1.5°C.

Nello scenario IS1 si considerano 23 Gigatonnellate per il periodo 2020-2050, per IS2 diminuiscono a 17 e per l'ultimo scenario solo 12, in concordanza con l'evoluzione delle tecnologie previste. Se il periodo si estende anche agli anni 2070, le Gigatonnellate possibili aumentano, come mostra la tabella sotto riportata:

	Residual international aviation CO_2 emissions	Percentage of global carbon budget for warming of		Residual international aviation CO_2 emissions	Percentage of global carbon budget for warming of	
	2020-2050 ($GtCO_2$)	1.5°C	2°C	2020-2070 ($GtCO_2$)	1.5°C	2°C
IS0	28	7.0%	2.4%	73	18.3%	6.3%
IS1	23	5.6%	2.0%	45	11.3%	3.9%
IS2	17	4.3%	1.5%	28	7.1%	2.5%
IS3	12	3.1%	1.1%	16	4.1%	1.4%

FIGURA 6-PERCENTUALI DI EMISSIONI POSSIBILI PER DIVERSI OBIETTIVI E DIVERSI SCENARI INTEGRATI. FONTE: ICAO, APPENDIX R3, 2022

- **Emissioni totali annue calcolate nell'anno di riferimento.** Le percentuali di emissioni ammissibili di CO2 per il trasporto aereo sono leggermente inferiori nel breve periodo (negli anni 2030-2035), ma possono notevolmente aumentare nel futuro, a seconda dello scenario integrato considerato. Questo perché con l'utilizzo di RFNBO, considerando perciò uno dei due ultimi scenari (IS2-IS3), è possibile, grazie all'implementazione di tecnologie all'avanguardia, ridurre le emissioni a vantaggio di combustibili di gran lunga più sostenibili.

Si consideri che nell'anno 2070 le emissioni di CO2 emissibili sono negative nel caso di limitazione a 1.5 °C, mentre ci si aspetta che le emissioni derivate dal trasporto aereo siano positive e circa 0.21-1.42 Gigatonnellate di CO2.
Per maggiore contesto, si consideri che le emissioni di CO2 derivate dal trasporto aereo sono state pari al 2.4% di tutte quelle totali nel 2018.
La tabella che segue mostra le emissioni possibili per il settore dell'aviazione e le relative percentuali del totale, nel caso in cui la soglia sia 1.5°C e 2°C. Gli anni di riferimento per l'ICAO sono 2020, 2030, 2050 e 2070.
In base allo scenario considerato, ci sarà un valore specifico di percentuale, per quanto riguarda gli anni 2050 e 2070, questi presentano una variabilità molto elevata (dal 10% al 47% e dal 4.6% al 32%) poiché considerano un futuro non prossimo e le emissioni possibili per il settore sono molto dipendenti dallo scenario (ICAO, LTAG Report Appendixes R3, 2022).

Year	Allowable annual emissions (IPCC via ISG)		Residual annual international aviation CO_2 emissions (from LTAG IS3-1)	International aviation percentage of total	
	1.5°C	2°C		1.5°C	2°C
2019/20*	39.69 Gt*	39.80 Gt*	0.60 Gt*	1.5%	1.5%
2030	22.85 Gt	34.73 Gt	0.57-0.67 Gt	2.5-3.0%	1.6-1.9%
2050	2.05 Gt	17.96 Gt	0.20-0.95 Gt	9.9-46.6%	1.1-5.3%
2070	-4.48 Gt	4.48 Gt	0.21-1.42 Gt	N/A	4.6-31.6%

FIGURA 7- QUANTITÀ DI EMISSIONI POSSIBILI PER DIVERSI OBIETTIVI E DIVERSI SCENARI INTEGRATI. FONTE: ICAO, APPENDIX R3, 2022

- Traiettoria attesa. Nel 2050 lo scenario IS1 considera quasi il 50% del consumo delle emissioni possibili di CO2 per rimanere al di sotto di 1.5°C. Questa quota è destinata a decrescere nel 2070 fino al 30%, anche per il caso dei 2°C. Naturalmente queste percentuali sono nettamente inferiori se si prendono in considerazione gli scenari integrati più sviluppati, come IS2 e IS3.
  Questa metodologia è utile per effettuare decisioni sulla base di riduzioni attese, assumendo che queste diminuzioni sono siano lineari. Il modello considera un declino delle emissioni del 45% rispetto al 2010 nel 2030, raggiungendo lo zero netto nel 2050, nel caso in cui la soglia limite sia 1.5°C.
  Per quanto riguarda la soglia dei 2°C, le emissioni dovrebbero ridursi del 25% nel 2030, raggiungendo lo zero netto intorno all'anno 2070.

La seguente immagine mostra le gigatonnellate di CO2 emissibili per il settore del trasporto aereo nei vari anni.
Sono presenti i due casi: soglia di 1.5°C in grigio, curva decrescente, soglia di 2°C in nero, di simile andamento, ma con riduzioni meno importanti. Si può notare come le Gigatonnellate "disponibili"

siano negative per la prima soglia, oltre l'anno 2050, come accennato in precedenza infatti in quest'anno si raggiunge lo zero netto.
In basso, in piccolo, troviamo i tre scenari integrati (IS1-IS3) con le percentuali definite in range. Si può notare come questi scenari presentino dei range e non siano illustrate solo delle rette:

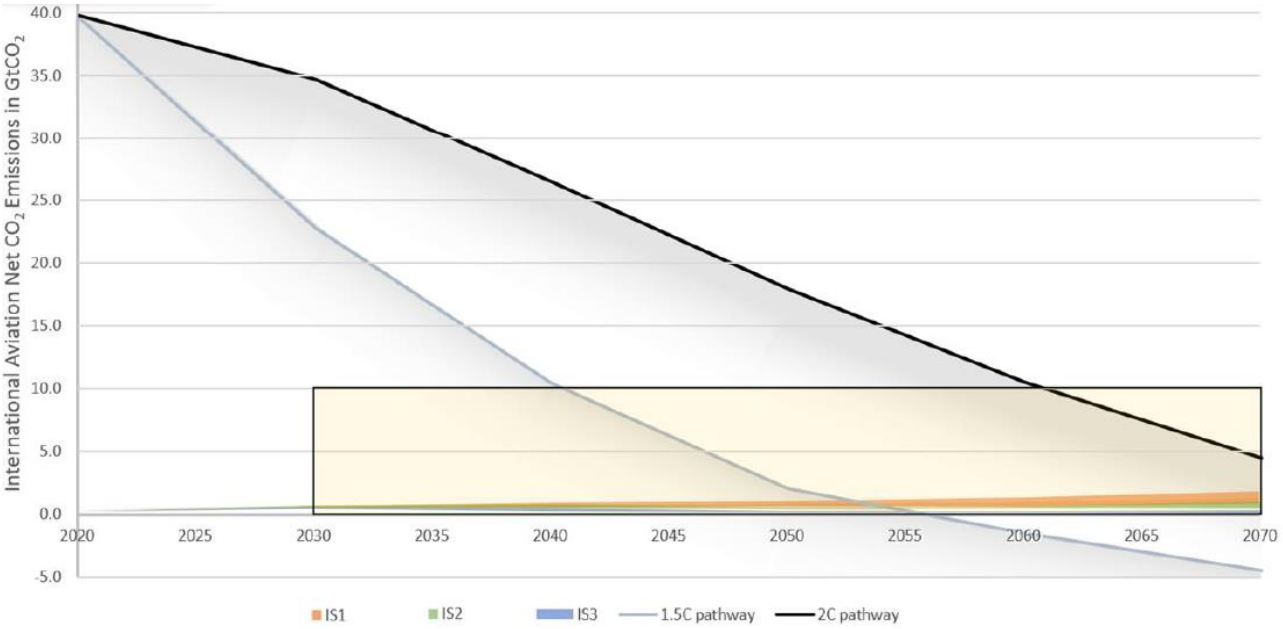

FIGURA 8-RANGE DI PERCENTUALI PER I DIVERSI SCENARI INTEGRATI. FONTE: IPCC AR6 WGIII 2021

Con riferimento ai range e alle varie percentuali negli anni, è presente uno zoom della parte sottostante del grafico:

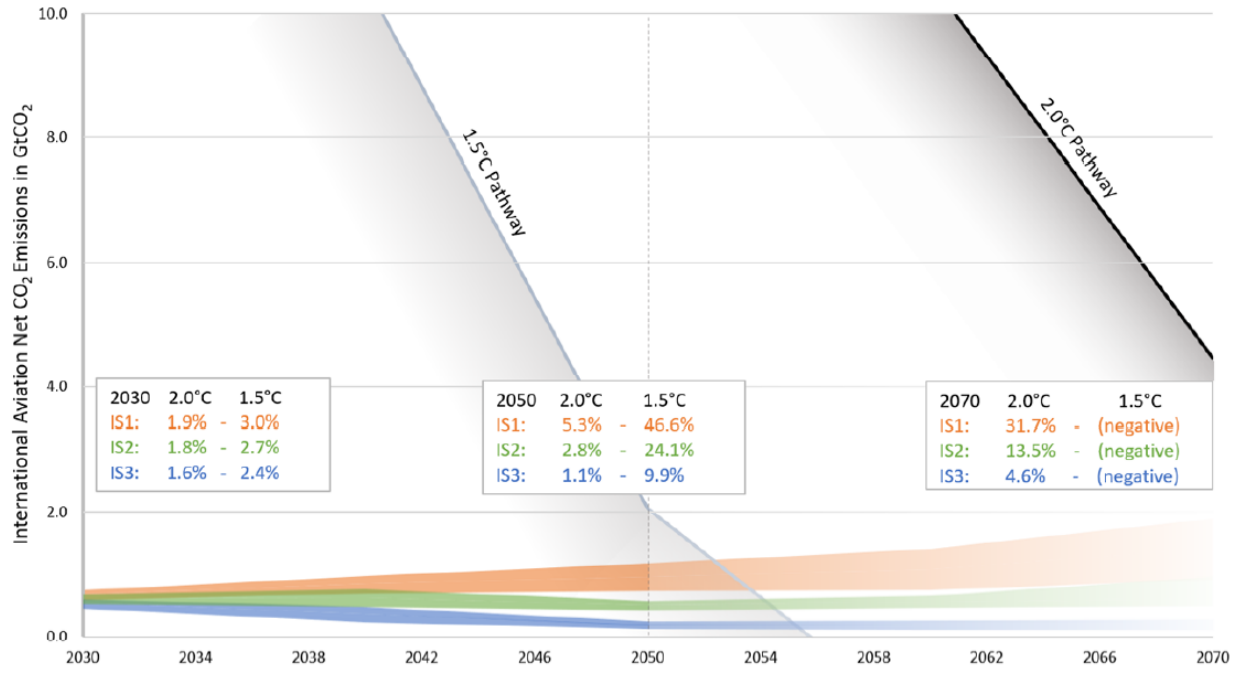

FIGURA 9-ZOOM PER RANGE DI PERCENTUALI. FONTE: IPCC AR6 WGIII, 2021

Riassumendo, nel 2050 lo scenario IS1 considera il più largo range per la soglia 1.5°C, mentre nel 2070 considera valori negativi per la stessa soglia.
Lo scenario IS2 nel 2050 considera una significativa percentuale di emissioni globali di CO2 per la soglia 1.5°C, nel 2070 la frazione si riduce dal 24.2% al 13.4%.
Lo scenario IS3 considera in generale percentuali molto più basse, in concordanza con quanto spiegato all'inizio sullo sviluppo delle tecnologie e l'utilizzo dei SAF.

In accordo con questi obiettivi e con questi dati, l'ICAO ha messo a punto il programma CORSIA nel 2016. Sono le prime misure **mondiali** che permettono l'armonizzazione per la riduzione delle emissioni dell'aviazione, minimizzando la distorsione dovuta a spostamenti internazionali.
Il CORSIA richiede alle compagnie aeree di compensare la crescita delle loro emissioni a partire dal 2020, grazie all'utilizzo dei SAF. Le emissioni che si chiede di compensare nell'ambito del CORSIA sono quelle contemplate nell'accordo di Parigi, si tratta perciò di voli internazionali. Come accennato in precedenza, diventerà obbligatorio nel 2027, con la terza e ultima fase. Per questo motivo tutti i Paesi europei aderiranno e l'UE dovrà adeguarsi per conciliare il nuovo schema col già definito sistema europeo di scambio delle emissioni EU-ETS, che considera il principio *Cap and Trade.* Importantissimo per il controllo è la comunicazione delle proprie emissioni, in base a questo si definiscono dei crediti (in termini di quote o di compensazioni) a seconda dell'aumento o della riduzione delle loro emissioni.

L'implementazione del CORSIA sarà incentrata sul **Corsia Central Registry (CCR)**, un'applicazione web con supporto su un database, in grado di contenere informazioni e dati per la trasparenza:

- Elenco degli operatori aerei ammessi
- Elenco degli organismi di verifica accreditati
- Emissioni di CO2
- Elenco dei carburanti ammissibili
- Unità di emissione annullate

Tutte le azioni saranno registrate senza possibilità di cancellazione, in una modalità standardizzata che permetterà a tutti gli Stati aderenti di presentare all'ICAO dati e informazioni certe relative al CORSIA. Con il CCR, il segretario dell'ICAO memorizzerà le informazioni inviate e, eseguendo calcoli, svilupperà i rapporti necessari per maggiore trasparenza.

Altri elementi di implementazione del CORSIA, salvo il CCR, sono (ISPRA, CORSIA):

1. Elenco delle coppie di Stati soggetti ai requisiti di compensazione per ogni anno del periodo volontario 2021-2026;
2. Un sistema di gestione delle informazioni per stimare e rendere disponibili i report delle emissioni;
3. Elenco dei carburanti ammissibili;
4. Elenco delle unità di emissione ammissibili per la compensazione (gli standard consolidati nel ciclo 2021-2023 sono: American Carbon Registry (ACR), China GHG Voluntary Emission

Reduction Program, Clean Development Mechanism (CDM), Climate Action Reserve (CAR), Gold Standard (GS), e il Verified Carbon Standard (VCS). Per tutte le norme, le unità di emissioni ammissibili sono limitate alle attività che hanno iniziato il loro primo periodo di accredito il 1° gennaio 2016 e per quanto riguarda le riduzioni delle emissioni verificatesi fino al 31 dicembre 2020).

Il CORSIA opera dal 2019, monitora, riporta e verifica in maniera da compensare le emissioni di CO_2 a partire dal 1° Gennaio 2021. Per permettere agli Stati aderenti di rispettare le normative nei tempi previsti, c'è bisogno di intavolare leggi che permettano il calcolo e il trasferimento di queste informazioni secondo norme ben definite per tutti gli stati e le cosiddette SARPs (Standards and Recommended Practises).

Per questo motivo è stata istituita una Commissione Delegata per la Regolazione (Commission Delegated Regulation 2019/1603), che si occupi di definire nel migliore dei modi e nella più chiara maniera possibile, tutte le norme e regole.
Negli ultimi due anni, come conseguenza della pandemia da COVID-19, le emissioni si sono ridotte drasticamente. Per questo motivo l'ICAO ha deciso di utilizzare come anno di riferimento per eventuali statistiche e comparazioni per il periodo 2021-2023, il 2019. L'assemblea dell'ICAO dovrebbe confermare questa decisione nell'ottobre del 2022.
Secondo le disposizioni dei SARPs del CORSIA, gli Stati Membri devono notificare gli operatori di aerei delle norme di compensazione possibili per un determinato anno, entro il 30 novembre dell'anno successivo.
Non si prevede che la formula definita nelle SARPs del CORSIA per il calcolo dei requisiti di compensazione venga modificata dall'Assemblea ICAO. Il suo utilizzo dovrebbe consentire l'adozione tempestiva della presente decisione con largo anticipo rispetto all'assemblea dell'ICAO, in modo che gli Stati membri siano in grado di calcolare con precisione i requisiti di compensazione annuali degli operatori non appena le coppie di Stati CORSIA e il fattore di crescita del settore CORSIA saranno pubblicati dall'ICAO.
Gli obiettivi di questa decisione e i calcoli derivanti dalla formula definita nelle SARPs non possono essere soddisfatti sufficientemente a livello nazionale, a causa delle dimensioni e degli effetti, è quindi più facile stabilirli a livello Europeo, tramite dei livelli di proporzionalità.

La formula sopra nominata serve per il calcolo delle emissioni dell'anno precedente (y) che si richiede di compensare nel futuro, a partire dal 1° gennaio 2024, fino al dicembre del 2035.
È la seguente (ICAO, CORSIA. Annex 16, 2018):

$$\boldsymbol{OR_y = OE_y * SGF_y}$$

Dove

- OR_y: emissioni dell'anno precedente che bisogna compensare
- OE_y: emissioni di CO2 dell'anno precedente, per voli tra Stati inclusi nel documento dell'ICAO che lista tutte le coppie possibili di Stati per i voli internazionali, *"CORSIA States for Chapter 3 State pairs"*
- SGF_y: acronimo di Sector's Growth Factor, un fattore di crescita del settore, definito nell'anno y. Viene scelto dall'ICAO, si trova nel documento "CORSIA Annual Sector's Growth Factor (SGF)", disponibile sul sito web del CORSIA.

Questa formula è destinata a essere utilizzata come regolatrice, fino al 2035. Gli Stati che aderiscono al CORSIA devono notificare all'ICAO la presenza di ogni operatore aereo che presenti una delle seguenti caratteristiche:

1. Possiede un ente di decisione (*designator*) registrato all'ICAO, per cui lo Stato è considerato "Notifying State";
2. Produce più di 10000 tonnellate di emissioni annuali di CO2, con una massa certificata di peso oltre 5700 kg e effettua voli internazionali tra Stati aderenti al CORSIA.

Da ritenersi esclusi da questo calcolo, sono i voli nazionali, umanitari, medici, militari, per estinzione incendi e tutti i voli che li accompagnino.

Un'altra formula importante definita dall'ICAO è quella che calcola la riduzione di emissioni per ogni operatore, a partire dall'utilizzo degli "eligible SAF" definiti nel CORSIA (ICAO, CORSIA. Annex 16, 2018):

$$\mathbf{ERy} = \mathbf{FCF} * \left[\sum \boldsymbol{MS_{f,y}} * \left(\mathbf{1} - \frac{\boldsymbol{LS_f}}{\boldsymbol{LC}}\right)\right]$$

Dove

- ER_y: riduzione delle emissioni grazie all'uso dei SAF, riconosciuti dal CORSIA;
- FCF: fattore di conversione del carburante;
- $MSF_{y,f}$: quantità complessiva rivendicata dall'operatore nell'anno y, riferita al carburante f;
- LS_f : ciclo di vita delle emissioni del carburante f secondo il CORSIA;
- LC: baseline dei cicli di vita delle emissioni per i SAF.

Il calcolo finale delle emissioni da considerare per ogni operatore considera la differenza ($\mathbf{FOR_c}$) fra il primo valore ottenuto $\mathbf{OR_y}$ e il secondo $\mathbf{ER_y}$, considerato come un fattore positivo, dato dall'utilizzo dei SAF che decrementano le emissioni totali da compensare ogni anno.
Se il valore di $\mathbf{FOR_c}$ è negativo allora l'operatore non ha compensazioni da dover considerare per l'anno successivo, altrimenti si arrotonda in eccesso alla tonnellata di CO_2 più grande e si considera questo valore come offsetting obbligatorio (ICAO, CORSIA. Annex 16, 2018).

2.2 In Europa

La risposta europea al CORSIA dell'ICAO è il pacchetto Fitfor55 come realizzazione del Green Deal Europeo. Il 14 luglio del 2021, la commissione europea ha presentato un piano concreto per ridurre le emissioni di almeno il 55% entro il 2030, in comparazione con i livelli di emissioni del 1990. Questo pacchetto comprende una proposta per assicurarsi un livello sostenibile di emissioni per il trasporto aereo: **l'iniziativa ReFuelEU Aviation.**

Questa Regolazione entra in vigore dal Primo gennaio 2023, mentre alcuni articoli (es. Articolo 4 e Articolo 5) avranno valenza in un periodo successivo. Varrà per tutti gli Stati membri dell'UE.

Uno dei problemi che questa iniziativa si ripropone di affrontare è il "fuel tankering". Questo accade quando un qualsiasi aereo viene rifornito in maniera eccessiva in un determinato aeroporto, con l'obiettivo di non dover richiedere ulteriore combustibile alla destinazione di arrivo, essendo ancora in grado di fare la rotta al ritorno. Si tratta di una pratica nociva per l'ambiente, messa in pratica se i prezzi di rifornimento in un aeroporto risultano inferiori che in un altro, per questo motivo gli operatori aerei cercano di sviare l'aumento del prezzo incrementando il peso del serbatoio sin dall'inizio, aumentando anche le emissioni e inquinando ancora più del dovuto.
I problemi che insorgono, salvo quelli relativi alla sostenibilità, riguardano il mercato europeo e la possibilità di renderlo iniquo. Soprattutto se i voli aerei non riguardano solo aeroporti europei, questa pratica può sembrare più appetibile se i prezzi extraeuropei sono maggiori o inferiori rispetto a quelli interni. Con l'aumento delle normative sostenibili, con i vari pacchetti del Green Deal europeo e la consapevolezza mondiale di cambiare rotta per qualcosa di meno impattante, questa procedura potrebbe essere esacerbata con l'aumento dell'utilizzo dei SAF e di conseguenza dei prezzi dei combustibili.
Il ReFuelEU Aviation cerca perciò di ristabilire ordine e preserva gli equilibri precari del sistema europeo, che risulta complesso a causa dei molti Stati presenti ed enti diversi di regolazione per ognuno.

La commissione europea ha adottato nel dicembre 2020 la "Strategia di Mobilità Sostenibile e Intelligente", dall'inglese Sustainable and Smart Mobility Strategy. Ha introdotto obiettivi di velocizzazione e incremento dei SAF, in maniera da raggiungere più rapidamente gli obiettivi di neutralità entro in 2030, come da accordi del pacchetto Fitfor55 e il Green Deal europeo. L'obiettivo principale è quello di sostituire nel settore del trasporto aereo il combustibile fossile e cercare di limitarne la necessità, a favore di carburanti sostenibili.
Il nodo focale è l'impossibilità immediata all'utilizzo di tecnologie avanzate che impieghino l'idrogeno e sistemi complessi e modificati di aeroplani, a causa dell'impreparazione del mercato, ma soprattutto dell'offerta di questi sistemi.
Per la decarbonizzazione del settore sono necessari i SAF, quindi il sistema europeo necessita nell'immediato di normative e regole che riescano a identificare univocamente le modalità di utilizzo e impiego di queste fonti innovative in ogni aeroporto del sistema europeo.

Normative per l'utilizzo specifico di un SAF sono al momento inesistenti, ma ci si prepara a una miscela di più fonti, in maniera tale da garantire almeno il 5% di carburante SAF in ogni volo nazionale e internazionale entro il 2030 e il 63% minimo entro il 2050, come da accordi europei. I

SAF che si considera per questo obiettivo sono nello specifico i biofuel di seconda generazione e i sintetici, in grado di ridurre le emissioni dell'85% rispetto al carbon fossile (IPCC AR6 WGIII (2021)).

Nonostante la necessità impellente, i SAF sintetici stentano ancora ad entrare nello scenario a causa del loro costo che può arrivare quasi a essere **sei volte** superiore ai combustibili attualmente utilizzati (ICAO, LTAG Report Appendixes R3 (2022)), (EUROPEAN COMMISSION, REFUELEU 2021).
Perciò questa normativa cerca di implementare soluzioni efficienti ed efficaci in grado di imporre questi carburanti sostenibili, di favorire il loro utilizzo sul mercato europeo e avvantaggiare uno sviluppo tecnologico in grado di ridurne il prezzo. Il trasporto aereo è l'unico che necessita di regole uniformi che impongano chiarezza e siano di semplice implementazione a livello internazionale, proprio a causa degli spostamenti di lungo raggio che permette di effettuare. Sono necessarie, perciò, misure da applicare a tutte le compagnie aeree e a tutti gli attori di interesse europei e che definiscano regole per gli Stati extra-europei che si interfacciano con l'UE.
Si crede in seguito possibile uno scambio di effetti positivi con l'ambiente extra-europeo, infatti una proposta allargata come questa, che non considera un singolo Stato, può generare volontà esterne di miglioramento del sistema sostenibili. Si parla di "effetti spill-over", in quanto Nazioni esterne possono adottare misure simili, in maniera tale da accelerare il già definito sistema mondiale dell'ICAO (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

Le **opzioni** di policy inizialmente proposte sono tutte indirizzate a regolamentare l'obbligo di utilizzo dei SAF, definendo le quantità, le tipologie, i costi ma soprattutto gli attori coinvolti. In seguito, si parlerà di una suddivisione maggiore di ognuna. La prima classificazione delle policy le suddivide in tre macrocategorie.
Il *primo* set di opzioni comprende l'obbligo ai fornitori di carburanti di distribuire SAF a tutti gli aeroporti europei, a prescindere dalla loro dimensione.
Un *secondo* set di opzioni considera l'obbligo alle compagnie aerei di utilizzare una qualche percentuale di SAF se viaggia da e verso un aeroporto europeo (una sotto-opzione considera tutti i voli, quella più gettonata copre solo i voli intraeuropei).
L'*ultima* opzione obbliga i fornitori di carburanti a distribuire in maniera flessibile una certa quantità di SAF per la partenza e allo stesso tempo obbliga le compagnie aeree a rifornirsi in maniera sostenibile se il volo inizia da un aeroporto europeo.

Queste opzioni possono considerare la percentuale di obbligo dei carburanti sostenibili in termini di volumi o di riduzione di emissioni di CO2, la più gettonata è la terza opzione, con un obbligo addizionale che imponga un qualche sub-mandato che consideri i RFNBO, i carburanti più all'avanguardia ma senza supporto tecnologico al momento.
Il set di opzioni di policy preferita permette il mantenimento di competitività del settore del trasporto aereo, ma riesce a considerare volumi di riduzione di emissioni rilevanti, fino quasi al 61% nel 2050 rispetto alle previsioni del momento. Secondo vari pronostici, sarebbe possibile aumentare la capacità dei SAF fino a quasi 26 mega tonnellate nel 2050, se il mercato riuscisse il prima possibile a introdurli sul mercato adeguatamente (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

Questo permetterebbe una diminuzione adeguata del costo dei SAF, riducendo il grande gap attuale tra il suo prezzo e il prezzo del combustibile fossile tradizionale. Un altro grande vantaggio di questo sistema considera il sociale: si stima che ci possa essere una creazione di lavoro di circa 202.100 nuovi posti. Tante sono perciò le esternalità positive: miglioramento della qualità dell'aria e quindi

della salute globale, uno sviluppo sociale e introduzione di nuove figure lavorative e uniformità a livello europeo. Il miglioramento della qualità dell'aria si stima possa costare 1.5 miliardi€ in meno nel periodo 2021-2050, grazie alle misure preventive in meno necessarie.

Bisogna considerare però l'aumento dei costi dei carburanti come inevitabile: sebbene sia arginabile questo gap di prezzo tra fuel sostenibile e no, i SAF aumenterebbero comunque il costo mondiale di carburanti di circa 20,3 miliardi€ tra il 2021 e il 2050. Questo genererebbe tariffe di volo in aumento per un 8.2% in più nel 2050, che ridurrebbe il totale dei passeggeri aerei, i quali sono comunque destinati ad aumentare del 77% rispetto al 2015. Ciò è dovuto alla necessità indiscussa di spostamento per grandi tratte, date le nuove tipologie di lavoro emergenti, richiedenti viaggi continui (IPCC AR6 WGIII (2021)).

Come per il CORSIA, anche il ReFuelEU si applica solo per i velivoli civili, che trasportino passeggeri di voli di trasporto. Non si applica per i voli militari, umanitari, di ricerca e salvataggio, per emergenze disastri e soccorsi per estinzione incendi. Data la natura eccezionale di queste emergenze, non sarebbe sempre possibile rispettare le normative e avere il tempo necessario per il rifornimento corretto di carburanti sostenibili.

Un'altra limitazione e soglia di applicazione riguarda il numero di voli aerei annuali di un dato aeroporto. Non è stata ancora data una cifra, ma si auspica che questa regolazione possa coprire almeno il 95% del traffico totale del trasporto aereo europeo.

Oltre le 3 suddivisioni in precedenza esposte, si considerano diverse policy PO, più specifiche. Sono raggruppate in opzioni: A1, A2, B1, B2, C1 e C2, tutte con lo scopo di ridurre le emissioni della stessa quantità, tranne la PO B2, che verrà in seguito delineata (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

La **prima policy è la A1**. Consiste nell'imporre un obbligo ai fornitori dei carburanti di rifornire in tutti gli aeroporti europei almeno una minima percentuale di SAF, espressa in termini di volume, potrebbero essere esonerati aeroporti di piccola taglia o di natura insulare.
La percentuale di cui si parla può variare nei vari in anni, con l'obiettivo di diminuire gradualmente le emissioni per raggiungere la neutralità ambientale nel 2050.

A. Da gennaio 2025, è prevista una percentuale minima di SAF del 2%;
B. Dal 2030 del 5% dei SAF e 0.7% di fuel sintetico;
C. Da gennaio 2035, SAF obbligatori del 20% e 5% di fuel sintetico;
D. Dal 2040, 32% minimo di SAF e 8% di fuel sintetico;
E. Da gennaio 2045, minimo del 38% di SAF e 11% di fuel sintetico;
F. Dal 2050, una percentuale minima del 63% di SAF e del 28% di carburanti sintetici.

Dal 2030 si potrebbe considerare un supplemento che riguardi le fonti RFNBO, compatibilmente con lo sviluppo tecnologico per la loro implementazione.

Si prevede quindi l'indicazione dell'aeroporto di provenienza, il codice di questo per l'ICAO, le tonnellate di combustibile necessario annuale, le tonnellate di combustibile effettivamente utilizzate e quelle non utilizzate e di quest'ultime le cumulate nei vari anni.
In questo modo è possibile sia per l'ICAO che per la comunità europea sapere i vari consumi per ogni tipologia di aeromobile, associata ai vari aeroporti. Penalità e sanzioni potrebbero essere applicate, nel caso di non rispetto delle varie percentuali negli anni, di ciò se ne occupa l'agenzia europea EASA, European Aviation Safety Agency.

La **seconda policy PO è la A2**. Di natura simile alla precedente, l'imposizione considera sempre i fornitori di carburanti ma stavolta considera un obbligo basato sulla riduzione dell'intensità di CO2, ovvero le emissioni di CO2 del ciclo di vita per unità di energia.
Per quanto riguarda l'utilizzo dei RFNBO, ci sarebbe da considerare un incentivo di implementazione definito da un fattore che annualmente riduce il divario tra l'utilizzo dei biofuel e quello dei RFNBO, in maniera proporzionale alla diminuzione del prezzo di quest'ultimi che si ipotizza annualmente, in accordo con lo sviluppo tecnologico previsto.
L'impatto ambientale positivo che si stima di avere con questa seconda policy è di simile entità della prima.

La **terza policy è B1**. L'obbligo è stavolta sul lato della domanda, impone alle compagnie una minima quantità di SAF, espressa in termini di volume, non per ogni volo effettuato ma su base annuale. Si considerano voli intra-europei ed extra-europei, ma che siano effettuati da un aeroporto di partenza dell'UE.

La policy B2 è similissima alla B1 sempre espressa in termini di volumi di SAF, considera un obbligo sul lato della domanda (compagnie aeree), ma solo per voli intra-europei. Per questo motivo questa policy permette una riduzione delle emissioni inferiore.

La **quarta policy è la C1**; l'obbligo è sul lato dell'offerta (fornitori di carburanti) ed è espressa in termini di volumi. La differenza con la policy A1 è la suddivisione in due periodi diversi per la sua applicazione:

- Dal 2025 al 2030 i fornitori di carburante sono obbligati a somministrare una percentuale di SAF negli aeroporti europei che vari dallo 0 al 50 %. Questo significa che non c'è obbligo di fornire un minimo di carburante sostenibile in ogni aeroporto;

- Dal 2030 al 2035 ai fuel suppliers è richiesta una minima percentuale di distribuzione in OGNI aeroporto dell'UE, che vari dal 2% al 50%.

Particolare attenzione sarà prestata alle pratiche di *fuel tankering*: tutte le compagnie aeree, sia europee che no, in partenza da un aeroporto dell'UE saranno sottoposte al controllo del peso del serbatoio per accertamento di viaggiare con lo stretto necessario al viaggio prefissato. L'obiettivo è sia quello di limitare eccedenza irragionevole di emissioni, sia quello di non creare uno svantaggio tra i vari aeroporti intra-europei, che siano di passaggio (hub-and-spoke) o di destinazione finale.

L'ultima policy è la C2: l'obbligo è sempre per i fornitori di carburanti, basato nuovamente sulla riduzione dell'intensità di CO2, ovvero le emissioni di CO2 del ciclo di vita per unità di energia. Considerazioni sull'effetto e sul monitoraggio sono da vedersi per l'opzione A2.

Gli approcci considerati nelle varie policies sono di due nature: *volume-based*, e *CO2 intensity reduction-based*. Il primo è necessario nel caso in cui lo sviluppo tecnologico sia moderato ma presente, mentre il secondo è riconosciuto come tecnologicamente neutrale, non richiede sviluppi ingenti ma l'obiettivo è stimato solo sulla riduzione della CO2 emessa.

Dal 2050, per tutte le policies attualizzabili ci sono riduzioni di emissioni di CO2 realizzabili. La policy B2 è la meno efficace, rispetto alla baseline considera una diminuzione del 7% delle emissioni in aria, mentre tutte le altre all'incirca il 9-10%.

Non di poco conto sono anche gli effetti indiretti del trasporto aereo: molti fattori e agenti non relativi a emissioni di CO2 hanno un ruolo non meno trascurabile, i gas fluorurati (o gas refrigeranti) o in generale i SLCF (Short-lived climate factors) sono stati precedentemente discussi.

	Attore coinvolto	Tipo di approccio	Estensione obbligo	Tipo di obbligo	Anno di inizio
A1	Fornitori	Volume-based	Tutti gli aeroporti UE	Percentuale minima di SAF	2025 per SAF, RFNBO dal 2030
A2	Fornitori	Riduzione CO2	Tutti gli aeroporti UE	Percentuale minima di riduzione delle emissioni di CO2	2025 per SAF, RFNBO considererà un incentivo moltiplicativo in diminuzione
B1	Compagnie aeree	Volume-based	Ogni volo che parta da un aeroporto UE, a prescindere dalla destinazione	Percentuale minima di SAF	2025 per SAF, RFNBO dal 2030
B2	Compagnie aeree	Volume-based	Solo per voli all'interno dell'UE	Percentuale minima di SAF	2025 per SAF, RFNBO dal 2030

C1	Fornitori e compagnie aeree	Volume-based, poi obbligo del 2% di SAF in ogni litro fornito, a partire dal 2030	Tutti gli aeroporti UE e ogni volo che parta da un aeroporto UE, a prescindere dalla destinazione	Percentuale minima di SAF fino al 2030, poi ogni volo in partenza deve essere miscelato con SAF	2025 per SAF, RFNBO dal 2030
C2	Fornitori e compagnie aeree	Riduzione CO2	Tutti gli aeroporti UE e ogni volo che parta da un aeroporto UE, a prescindere dalla destinazione	Percentuale minima di riduzione delle emissioni di CO2	2025 per SAF, RFNBO considererà un incentivo moltiplicativo in diminuzione

TABELLA 2- LE DIVERSE POLICIES PROPOSTE DAL PACCHETTO REFUELEU. FONTE: EUROPEAN COMMISSION, REFUELEU 2021

2.3 Confronto

A livello mondiale, i carburanti sostenibili per l'aviazione sono regolamentati dall'ICAO. In particolare, l'ICAO stabilisce requisiti dettagliati sulla sostenibilità, la tracciabilità e la contabilizzazione dei carburanti sostenibili per l'aviazione da utilizzare sui voli coperti dal Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). Sebbene gli incentivi siano stabiliti nel CORSIA e i carburanti sostenibili per l'aviazione siano considerati un pilastro integrante del lavoro sulla fattibilità di un obiettivo di aspirazione a lungo termine per l'aviazione internazionale, attualmente non esiste uno schema obbligatorio sull'uso di carburanti sostenibili per l'aviazione per i voli internazionali. Accordi globali o multilaterali sul trasporto aereo tra l'UE o i suoi Stati membri e paesi terzi includono generalmente disposizioni sulla protezione dell'ambiente. Tuttavia, per il momento, tali disposizioni non impongono alle parti contraenti alcun requisito vincolante sull'uso di carburanti sostenibili per l'aviazione (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

Il programma dell'ICAO si basa sul metodo di compensazione delle emissioni, ma si stima che da solo il CORSIA non sarà in grado di dare un incentivo sufficiente poiché il prezzo di mercato delle compensazioni di carbonio è stimato essere inferiore al prezzo aggiuntivo di mercato di SAF, attualmente estremamente costoso.

Mentre il CORSIA risulta più un incentivo, basato sull'utilizzo dei SAF per ridurre le emissioni GHG, e non un obbligo, il RefuelEU si prefigge l'obiettivo, sulla base degli stessi calcoli e stesse ambizioni, di obbligare i fuel suppliers o le airlines, a seconda della policy che verrà implementata.

Per esempio, la policy B1 considera un obbligo per le compagnie aeree di utilizzare una minima percentuale, che incrementa ogni anno, di SAF espresse in termini di volumi. Non è obbligatoria una percentuale per ogni volo ma è necessario dimostrare un utilizzo minimo medio ogni anno, per tutti i voli che partono da un aeroporto dell'Unione Europea, a prescindere che la destinazione sia europea o meno.

Ciò non toglie che le due normative possano intersecarsi o trovare punti in comune: considerati i criteri di sostenibilità dei SAF secondo le regole dell'ICAO, ogni riduzione di CO_2 derivata dall'utilizzo dei carburanti sostenibili riconosciuti dall'ICAO potrebbe essere calcolata a favore delle compagnie aeree o dei fuel supplier, a seconda della policy che viene applicata del RefuelEU. Non si è certi se allineare gli obiettivi europei ai criteri di sostenibilità dell'ICAO o del RED II e quindi per le compagnie aeree (nello specifico considerando la policy B1) reclamare quantitativi di SAF acquistati secondo l'EU ETS o il CORSIA, ma l'idea più sensata e che probabilmente potrebbe essere applicata è quella di riferirsi all'EU ETS se i voli sono intra-europei, altrimenti al CORSIA se extra-europei.

Tutte le emissioni internazionali dei voli tra gli Stati membri dell'UE potrebbero essere potenzialmente soggette sia al regime ETS (Emission Trading System) dell'UE che al regime CORSIA per quanto riguarda i voli intra-europei. Tuttavia, lo spazio politico dell'UE e il livello di ambizione climatica sono stati salvaguardati a seguito delle differenze concordate e presentate dagli Stati membri dell'UE all'ICAO in una dichiarazione formale dell'UE rilasciata all'Assemblea dell'ICAO del 2019. Ciò è stato ritenuto fondamentale per non pregiudicare la revisione dell'ETS dell'UE alla luce della CORSIA e per preservare pienamente l'integrità degli obiettivi climatici dell'UE (COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT REPORT, 2021).

Alcune delle principali caratteristiche e differenze fra il sistema mondiale di regolazione delle emissioni, CORSIA, e quello europeo, EU- ETS, sono schematizzate e riassunte nella seguente tabella:

EU-ETS	CORSIA
Firmato nel 2005, con 4 fasi, l'ultima iniziata nel 2021	3 fasi a partire dal 2021, ultima fase obbligatoria a partire dal 2027
Cap and trade	Schema di compensazione
Vincolante	Compensazione con crediti in altri settori industriali
Crediti internazionali	Copertura solo se gli Stati di partenza e destinazione hanno aderito al CORSIA
Basato sulla rotta	Basato sullo stato

Applicabile a tutti gli operatori (europei e non, in dipendenza dalla policy)	Applicabile agli operatori aerei di ogni singolo stato
Si applica ai voli EEA	Si applica a tutti i voli internazionali
Implementazione con il RefuelEu per l'aviazione	Più difficoltà nel calcolo delle emissioni[1]

TABELLA 3- DIFFERENZE TRA IL SISTEMA INTERNAZIONALE E EUROPEO. FONTE: COMMISSIONE EUROPEA: COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT REPORT, 2021.

Diverse policy option sono state pensate come intersecazione dei due piani per poter fare ricorso nelle nazioni europee anche alle norme del CORSIA, in considerazione di voli domestici, pressocché governati dall'EU ETS, voli intra-europei e voli extra-europei:

Policy option	Domestic flights	Intra-EEA flights (including departing to CH, UK)	Extra-EEA flights
C0WIDE	ETS	ETS	ETS
C1BASE	ETS	ETS	-
C2CONLY	-	CORSIA	CORSIA
C3CLEAN	ETS	ETS	CORSIA
C4MIX	ETS	ETS/ CORSIA (above CORSIA baseline)	CORSIA
C5MIX2	-	EEA airlines: ETS non-EEA airlines: CORSIA	CORSIA

FIGURA 10- POLICY OPTIONS COME INTERSECAZIONE DEL CORSIA E DELL'EU-ETS. FONTE: COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, IMPACT ASSESSMENT REPORT. EUROPEAN COMMISSION, 2021

[1] Considerando che ci potrebbero essere sovrapposizioni di calcolo, data l'applicazione mondiale della regolamentazione

Per tutti i voli domestici, di partenza e destinazione nello stesso stato, la policy dominante è quella dell'EU-ETS. Se i voli risultano intra-europei, ma non domestici, per alcune policies si considera come regolatore anche l'ICAO, una sola policy fa distinzione tra la tipologia di compagnia aerea, se europea o meno. Nel caso di voli extra-europei, il regolatore principale è l'ICAO con il programma CORSIA ad eccezione della policy C0WIDE, che di base considera come regolatore solo l'EU-ETS. Mentre:

- C1BASE è la baseline, per come attualmente è in atto l'EU-ETS;
- C2CONLY vede l'applicazione del CORSIA per tutti i tipi di volo non domestico (internazionali);
- C3CLEAN considera l'EU ETS per voli intra-europei, domestici e non, mentre il CORSIA per gli extra-europei;
- C4MIX vede l'applicazione dell'EU ETS per voli domestici e internazionali al di sotto dei valori di riferimento del CORSIA, altrimenti si applica il CORSIA, mentre rimane obbligatorio per voli extra-europei;
- C5MIX2 distingue le compagnie aeree europee nei voli internazionali, mentre vede l'applicazione obbligatoria del CORSIA se i voli sono extra-europei.

Uno studio commissionato dalla Federazione europea per il Trasporto e l'ambiente e condotto da TAKS (Transport and Environment (Settembre, 2020)), ha analizzato l'impatto sui costi per le compagnie aeree considerando l'applicazione di due opzioni per integrare lo schema di compensazione dell'ICAO (CORSIA) insieme al sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (EU ETS). Ha analizzato il costo per le compagnie aeree se viene applicato il CORSIA solo ai voli in uscita o applicato anche ai voli in uscita e intra-UE coperti dall'ETS. Questo studio comprende scenari di prezzo basso e alto per le quote EU-ETS e le compensazioni Corsia. Lo studio è anche accompagnato da un'analisi aggiuntiva che confronta l'impatto finanziario che CORSIA ed ETS avrebbero prima e dopo il COVID. Tiene conto della riduzione del traffico aereo, che dovrebbe tornare ai livelli del 2019 nel 2024 e del passaggio dell'ICAO alla linea di base di Corsia, che comporterà una riduzione degli obblighi di compensazione per le compagnie aeree.

Questo studio ha evidenziato importanti conclusioni, tra cui:

- Se il CORSIA venisse applicato solo ai voli in uscita (processo chiamato "clean cut") e venissero eliminate gradualmente le quote gratuite per l'aviazione, i costi aggiuntivi per le airlines sarebbero minimi;
- L'applicazione del CORSIA ai soli voli in uscita comporterebbe un costo per l'inquinamento tra 47,6 e 70,6 milioni di € l'anno, ovvero solo il 0.2% dei costi operativi per le compagnie aeree;
- Se si applicassero entrambi, CORSIA e EU-ETS, ai voli intra europei il costo per le compagnie sarebbe tra lo 0.1 e il 0.2% dei costi operativi;
- Nel 2019 sono state cambiate le linee base del CORSIA e secondo i nuovi schemi, la domanda di compensazioni del CORSIA saranno inferiori al 50%.

L’importante conclusione generale è stata il ridotto impatto sui costi operativi per le compagnie aeree, sia nel caso in cui venissero applicati il CORSIA e EU-ETS ai voli intra-europei, sia l’applicazione del solo CORSIA per voli intra ed extra-europei. Questo è dettato dal fatto che, fermo restando i costi derivati dal EU-ETS, che rimane uno schema fisso a cui si aggiunge quello globale, il CORSIA non è molto impattante e di conseguenza poco significativo per le riduzioni delle emissioni, poiché si basa su schemi di compensazione poco limitanti.

Per questo, secondo la Federazione europea per il Trasporto e l’ambiente (Transport and Environment, Agosto, 2020), l’implementazione del CORSIA al posto dell’EU-ETS non è una opzione che dovrebbe essere presa in considerazione. Il CORSIA infatti non si basa su un vero e proprio schema basato su obblighi o imposizioni o non ha obiettivi di riduzioni effettivi, ma considera compensazioni e si affida alle compagnie aeree, le quali acquistano compensazioni, che non sono sufficienti per ridurre adeguatamente le emissioni: l’eccesso di offerta di compensazioni economiche da parte del CORSIA non incoraggia nella giusta maniera la riduzione di CO_2.

3 Analisi dei mercati e del loro sviluppo

3.1 Produttori di combustibili

Diversi sono gli attori che entrano a far parte della supply chain del trasporto aereo, uno tra questi i produttori di combustibili, o fuel supplier. Le imposizioni che potrebbero riguardare i produttori di combustibili sono varie e di varia natura.
Oltre 370.000 voli hanno utilizzato una minima percentuale di SAF dal 2016 e si stima che entro le prossime tre decadi la necessità di questi carburanti possa aumentare del 65%, per raggiungere la neutralità climatica. Si stima che la domanda annuale di passeggeri del trasporto aereo possa crescere fino a 6.9 miliardi fino al 2035, ovvero ci si aspetta quasi un raddoppio della domanda (al momento annualmente viaggiano in aereo circa 3.8 miliardi di persone). Per questo motivo si deve prevedere un massimo incremento della produzione di SAF, poiché la richiesta per soddisfare 6.9 miliardi di viaggiatori richiederebbe circa 450 miliardi di litri di SAF, in confronto ai 100 milioni prodotti l'anno precedente (EUROCONTROL, 2021).

Al momento gli Stati più attivi nell'utilizzo dei carburanti sostenibili in Europa sono la Svezia e la Norvegia, con il 0.15% e lo 0.5% di percentuali di miscela di SAF, aggiunta nel combustibile utilizzato per i voli che partivano dai loro aeroporti.

Il processo di creazione dei carburanti sostenibili parte dai produttori di SAF, inizia con la coltivazione di una qualsiasi biomassa (biofuel o sintetici), con il suo trasporto per il processamento, con la raffineria e la creazione vera e propria (attraverso i 5 processi di conversione definiti da ASTM), per poi concludersi con la distribuzione negli aeroporti e l'utilizzo nei voli di linea.

Alcuni dei produttori che operano in questo settore sono Neste, di origine finlandese, SkyNRG, norvegese mentre negli USA troviamo World Energy e Alder Fuels.

Il produttore finlandese si è approcciato al mondo sostenibile notando un cambiamento di mercato e una richiesta sempre crescente di SAF (https://www.neste.com/en). Prima di produrre i carburanti sostenibili si occupava della semplice ristorazione, nello specifico di patatine fritte.
I biofuel di prima generazione infatti possono nascere dall'olio per la cucina, vegetale o animale, chiamato in inglese UCO (Used Cooking Oil).

World Energy è una compagnia europea leader nella produzione e distribuzione di carburanti a basso concentrato di carbonio, pianifica di produrre all'incirca 600 milioni di litri di SAF per l'anno 2024. Una sua partnership importante è quella con United Airlines, una delle compagnie aerea più famosa e riconosciuta in America, la quale si è prefissa di comprare 7 miliardi di litri di SAF da World Energy, dato che aspira a diventare 100% sostenibile entro il 2050. Un'altra compagnia aerea americana che ha accettato di includere 7 milioni di litri di SAF miscelato è JetBlue, compagnia low-cost in grado per prima di raggiungere la neutralità dal carbonio (https://www.worldenergy.net/).

Alder Fuels e SkyNRG sono pionieri nel settore e riforniscono circa 30 compagnie aeree in tutti i continenti. SkyNRG ha annunciato una partnership con Boeing, costruttore di aerei, in cui ci saranno

scambi finanziari comuni per migliorare le tecnologie di implementazione dei SAF e cercare di utilizzare materiali riciclati per la costruzione dei velivoli di trasporto.

In aggiunta alla capacità di produzione che proviene da questi produttori, ci sono da considerare un numero di raffinerie in Europa che contano di produrre o stanno attualmente producendo biofuel, permettendo uno sviluppo degli incentivi per il mercato. Molti di questi produttori emergenti usano UCO, animale o vegetale, non escludendo la produzione di biofuel di seconda generazione a partire dalla materia prima del legno.
Alcune di queste si trovano in Finlandia, Svezia, Spagna, Portogallo e anche in Italia. L'ICAO stima una capacità produttiva in crescita continua, di 2.23% nel 2025 e 6.4% nel 2030, circa 1.35 milioni di tonnellate e 4.07 rispettivamente. In totale si considera una domanda di SAF del 10%, pari a 30 milioni di tonnellate, nel 2030. L'aspetto di non poco conto è quello normativo, che necessita di avanzare di pari passo con la domanda in crescita, in maniera tale da rendere il processo di produzione e vendita più semplice e omologato in tutto il mondo (ICAO, Appendix-S1 2022).

L'avanzamento della produzione è ancora lento. Alcune delle barriere che causano limitazioni per i SAF riguardano i costi, per esempio un carburante sostenibile derivato dall'UCO costa all'incirca 950€ a tonnellata, mentre il prezzo per il combustibile fossile è 600€/tonn (European commission (2021), RefuelEU Aviation). Uno dei principali motivi è sicuramente il **costo** della materia prima, in grado di variare di moltissimo a seconda del caso.
La seconda barriera fondamentale è la **tecnologia**, non ancora sviluppata a dovere per la produzione innovativa dei SAF, che necessitano invece processi molto complessi per la loro raffinatezza. Un esempio è il processo di sintesi di Fischer-Tropsch (FT), il quale necessita una qualsivoglia biomassa (termine che si utilizza per indicare un qualsiasi materiale vegetale utilizzato come fonte di energia), con il vantaggio del basso costo data l'abbondanza, ma si basa su un processo altamente complesso, per cui i costi si aggirano intorno agli 8$-23 a gallone se si considera la separazione della molecola CO_2, mentre il petrolio tradizionale si aggira intorno ai 2$-2.6 a gallone (Guiyan Zang e altri, 2021).
La terza e ultima barriera è quella **normativa**, come sopra accennato. I processi di autorizzazione per i SAF sono limitanti e rallentano le tempistiche di sviluppo tecnologico in modo drastico.

La commissione europea ha stabilito che il 31 marzo di ogni anno a partire dal 2023, secondo l'articolo 28 della Direttiva (EU) 2018/2001, ogni fornitore di combustibile riporti al database dell'UE le seguenti informazioni:

a. Il volume di combustibile fornito in ogni aeroporto dell'UE;
b. Il volume di ogni SAF e la tipologia rifornito in ogni aeroporto dell'UE;
c. La metodologia di conversione e la tecnologia utilizzata, la natura e l'origine della materia prima utilizzata per la produzione e il ciclo di vita delle emissioni emesse in ambiente, per ogni aeroporto rifornito.

Secondo il RefuelEU e le policies attuabili, la competitività dell'industria di fuel ci si aspetta che trarrà beneficio dalla proposta, dato che essa lancia un nuovo mercato con prospettive di crescita. È possibile e probabile che la produzione di SAF incrementi grazie all'evoluzione della tecnologia, che potrebbe far insorgere nuovi produttori e attori in tutta la supply chain.

Un modo per velocizzare questo processo sono schemi di agevolazione a favore dello sviluppo delle risorse rinnovabili. Nei vari anni il numero di policies e normative riguardanti i biofuel sono proliferate notevolmente in Europa, con l'obiettivo di aumentare l'uso delle risorse rinnovabili e la

loro produzione. Alcune di queste normative non riguardano però l'intera supply chain delle biomasse. La supply chain che considera queste materie prime parte dalla loro raccolta e si conclude con la loro conversione in energia, se ci concentriamo sui produttori di fuel. Un esempio dello spezzettamento normativo per questa supply chain sono le regolazioni delle biomasse delle foreste, che considerano solo la parte della raccolta.

Sembra ragionevole considerare i vari step della catena logistica per la creazione dei SAF, dalla raccolta alla conversione, per poi delineare le possibili agevolazioni che si applicano a questo contesto.

Secondo l'articolo dello *Science of the Total Environment* (2022), la prima fase è quella della **raccolta**, che può derivare da una biomassa primaria, se coltivata appositamente, o secondaria, se viene effettuata grazie a scarti e residui. Gli step sono vari, c'è la coltivazione, il taglio, l'estrazione, il processamento e lo stoccaggio, il tutto dipendente da vari fattori come la stagionalità, l'incertezza, il deperimento, una perdita di qualità e condizioni meteo. Tutto ciò può ovviamente ridurre i prezzi di vendita e la continuità di produzione, insieme alla sicurezza dei ricavi (Mina Daneshmandi e altri, 2022).

Accanto all'incertezza derivata da questi fattori, bisogna conciliare il tutto con le regolamentazioni, per esempio RED II (Renewable energy directive dell'UE) ha emesso varie condizioni atte a limitare la raccolta di materie prime per i biofuel di prima generazione, a favore degli advanced biofuels. Questo perché un uso indiretto della terra, *Indirect Land-use change* (ILUC), quale quello per la generazione dei biofuel di prima generazione, causa e causerebbe una eccessiva richiesta per materie prime edibili, creando un uso improprio della coltivazione che esula dallo scopo primario di sostenibilità. Il problema opposto è quello legato alla *Direct land-use change* (DLUC), se si considera un incremento di domanda per le materie edibili è possibile generare uno sfruttamento maggiore del suolo, andando a intaccare zone che prima non erano interessate dall'agricoltura.

Per quanto riguarda gli advanced biofuel, essi non sono considerati *High ILUC-risk* poiché non necessitano l'utilizzo di terra arabile, ma il loro problema è la disponibilità. Per una qualsiasi azienda di produzione è possibile trasportare residui di legna poco densi entro un raggio dai 50 ai 200 km, per questo motivo bisogna ipotizzare di avere raffinerie molto vicine ai punti di raccolta (IRENA, 2019). La direttiva europea RED II stabilisce vari criteri per queste biomasse da cui si ricavano advanced biofuel, devono esserci permessi legali per la raccolta e bisogna che questa abbia poco impatto sul suolo e sulla biodiversità, secondo il principio LULUCF.

Le cosiddette attività *land-use, land-use change and forestry* (LULUCF, in italiano si parla dell'uso del suolo, del suo cambiamento e della silvicoltura,) sono le attività umane che impattano sulla terra in maniera da alterare il sistema biosfera-atmosfera a causa dello scambio eccessivo di CO_2. Un modo per ridurre questo impatto è mitigando le attività LULUCF, diminuendo i livelli di gas serra liberati in ambiente (United Nations, Climate Change).

La catena di fornitura per i biofuel deve perciò compensare le emissioni risultanti dall'uso diretto della terra, rimuovendo una somma equivalente di CO_2 in atmosfera. Si tratta di una regola che viene chiamata "no debit", è come se venisse considerato un debito di emissioni, se queste vengono emesse per un qualche scopo, che bisogna compensare in altro modo. Meccanismo simile in tutto e per tutto a quello del CORSIA, con la definizione degli "offset requirements" (Environmental sustainability of biofuels, 2020).

La seconda fase per la produzione è lo **stoccaggio** e **trasporto**. Il problema principale in questo caso è la decomposizione, poiché consideriamo materiali organici ottenuti da biomassa, e nello specifico più tempo dura lo stoccaggio, minore sarà l'ammontare di valore calorico utilizzabile. Un rischio legato al tempo è anche la salute dei lavoratori a contatto con queste sostanze, muffa e funghi possono venirsi a creare, esponendo il personale a varie malattie infettive, tralasciando problematiche di incendi ed esplosioni dovuti all'esposizione di questo materiale con l'ossigeno.

Per quanto riguarda i mezzi di trasporto necessari, tipicamente il petrolio grezzo viene trasportato in cisterna o oleodotto a una raffineria dove viene prodotto insieme ad altri prodotti di idrocarburi. Il carburante per l'aviazione viene quindi trasportato da treni, barche o oleodotti che trasportano multiprodotto a luoghi di stoccaggio intermedi chiamati terminali di carburante (fuel terminals). Sono quindi qui in atto controlli di qualità per assicurarsi che il carburante non sia contaminato con altri combustibili, agenti esterni, acqua o microbi. L'ultimo elemento della catena di trasporto, noto come trasporto secondario, avviene in genere attraverso un'infrastruttura dedicata al carburante per jet che collega un fuel terminal o un impianto di stoccaggio esterno direttamente alla riserva di carburante dell'aeroporto. Questo è comunemente gasdotto o ferrovia, ma vengono utilizzati anche camion quando non sono disponibili altre infrastrutture, per coprire picchi temporanei di domanda o per far fronte a interruzioni della filiera. Nella maggior parte dei casi, una volta che il carburante di diversi fornitori entra in aeroporto, viene miscelato nei comuni serbatoi aeroportuali, facendo verificare una perdita di tracciabilità nella raffineria (ACI, 2022)

Infine, la **conversione** necessita diverse norme che ne certifichino la sostenibilità, come CEN/TC335, EN16214 (norma europea per i criteri di sostenibilità di biofuel e bioliquidi), EN14214 (norma europea specifica per gli acidi grassi) e altre. Come si può immaginare, le tecnologie per la conversione e la produzione di carburanti sostenibili sono innovative, necessitano di personale qualificato e addestrato e diversi certificati e tutto ciò prevede costi e rischi. L'immaturità della tecnologia genera costi maggiori e nonostante si pensi che i costi di capitali siano compensati dai benefici dei bassi costi delle materie prime, non sempre questo è vero (Singh e altri, 2021).

Gli advanced biofuel sono ottenuti a partire da diverse qualità di legno e cellulosa a seconda della coltivazione, dalle condizioni di raccolta e stoccaggio e decomposizione. Il problema che sorge è che una conversione identica possa non essere adeguata a diversi tipi di materiali, per questo sono necessarie tecnologie di produzione versatili, in maniera tale da rendere più accessibili i costi e le tecnologie e incrementare l'offerta (IRENA, 2019).

In ambito europeo la guida che gli stati membri dell'UE seguono è il RED II, la direttiva sulle energie rinnovabili, la quale vuole spingere alla competizione sul mercato permettendo un miglioramento della struttura a supporto per la produzione riducendone i costi e aumentando il prezzo o il volume delle vendite, gradualmente con l'evoluzione tecnologica. Ci possono essere diversi schemi a supporto definiti da ogni stato membro dell'UE, che possono influenzare in maniera diversa la supply chain, secondo un articolo di *Science of the Total Environment,* questi schemi possono essere divisi in 4 gruppi: incentivi diretti, misure fiscali, incentivi di mercato e programmi a supporto indiretti (Mina Daneshmandi e altri, 2022).

Il primo schema a supporto è quello dei **pagamenti diretti**, sotto forma di incentivi, relativi a investimenti e sussidi che riguardino l'infrastruttura, che assumono la forma di sovvenzioni, prestiti, fondi e altre forme dirette concessi da pubblico o privato. Sovvenzioni, fondi non rimborsabili e prestiti a interesse nullo aiuterebbero una tecnologia alle prime armi a svilupparsi, soprattutto nel caso dei biofuel di seconda generazione, che al momento sono i più complessi nella realizzazione. I fondi attualmente concessi (tra l'altro a interessi non nulli) permettono un miglioramento delle tecnologie che si occupano delle fasi finali, a ridosso della commercializzazione. Alcuni Paesi europei presentano prestiti a tasso agevolato per l'installazione di nuovi impianti con contributi aggiuntivi per favorire l'installazione di impianti che siano flessibili nei volumi di biofuel, come per esempio la Germania.

La seconda modalità di agevolazione è quella **fiscale**, che si riferisce al sistema di regolazione delle tasse in maniera tale che il costo di produzione possa diminuire. Diversi programmi sono e possono essere messi in atto: esenzione dalle tasse, riduzioni o rimborsi o ribassi di quote di tassazione. Una di queste soluzioni agevola gli investimenti in questo settore, rendendolo più accessibile e flessibile, promuovendo competitività nel mercato. In Italia un investimento per l'installazione di generatori di calore alimentati da biomassa combustibile è agevolato da una riduzione delle tasse del 50% dal 2017.

Gli Stati dell'UE presentano varie di queste soluzioni: la Croazia, la Germania e moltissimi altri. Le agevolazioni si vanno man mano a ridurre alla maturazione della tecnologia, questi schemi infatti si occupano di far iniziare a investire, rendendolo più semplice, più diventa semplice, meno necessarie sono le agevolazioni fiscali.

Il terzo schema è quello degli **incentivi di mercato**, che si occupano di promuovere la domanda di mercato e incrementare le economie di scala. Nel settore elettrico è garantito un prezzo per ogni unità di energia in un fissato periodo di tempo, secondo lo schema FIT (Feed-in tariff, in italiano "Conto Energia"). Esiste anche il FIP (Feed-in premium), in cui energia creata da fonti rinnovabili viene venduta a favore di un premio, in aggiunta al prezzo di mercato.

Il problema principale del FIP è che può generare una compensazione maggiore se i prezzi di mercato sono alti, e una compensazione troppo bassa se i prezzi sono bassi. La soluzione più immediata sarebbe quella di considerare la somma di prezzo di mercato e compensazione insieme, fissando un tetto minimo e un tetto massimo. Se il prezzo è molto alto, il FIP sarà basso in proporzione.

Un altro tipo di contratto che per esempio si trova nel Regno Unito, è il CFD: "Contract for Difference". Molto simili al FIP, promuove gli investimenti in tecnologie a basse emissioni di carbonio, viene attuato tramite aste, vincola i produttori di elettricità e il Low Carbon Contract Company, LCCC, una compagnia che garantisce un tasso fisso per ogni unità di bioelettricità generata durante il periodo del contratto, stabilito inizialmente. In base ai CFD, se il prezzo di vendita del mercato è inferiore al cosiddetto *strike price,* ovvero il prezzo a cui si può fare un'opzione, cioè il diritto che il possessore di tale opzione ha di acquistare o vendere il titolo relativo all'opzione stessa, la differenza tra i due viene pagata da LCCC, in caso contrario la somma in questione deve essere restituita (Gov.uk,

https://www.gov.uk/government/publications/contracts-for-difference-cfd-allocation-round-4-results).

Il CFD è attualmente disponibile in alcuni Stati, come Gran Bretagna, Italia, Germania, Paesi Bassi, Francia, Irlanda, Giappone e molti altri. Sono nati a Londra negli anni '90 con la prima versione, ma nei vari anni hanno avuto vari aggiornamenti, chiamati "round" (Gov.uk, 2022)

Molto spesso vengono usate delle combinazioni di questi incentivi, per esempio in Germania si può trovare il sistema FIT a tasso fisso accoppiato al FIP, in Francia il FIT con il FIP fisso, mentre in Gran Bretagna FIT e CFD.

L'immagine seguente mostra vari schemi applicabili nella Supply Chain per agevolare l'utilizzo di energia rinnovabile.

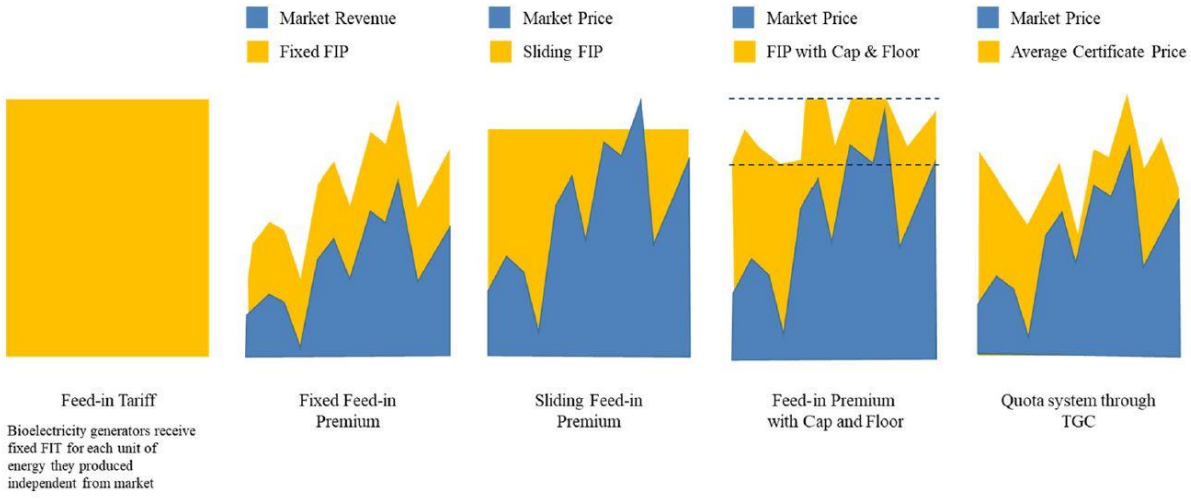

FIGURA 11 -SCHEMI DI SUPPORTO PER PROMUOVERE IL CONSUMO DI ENERGIA RINNOVABILE. FONTE: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, MINA DANESHMANDI E ALTRI, 2022

La FIT prevede tariffe fisse per ogni unità di energia prodotta, è un sistema applicato in particolare negli US, in Germania e Giappone (caso 1). Il sistema FIP, utilizzato molto spesso in Italia a favore del fotovoltaico, prevede un premio in aggiunta al prezzo di mercato (caso 2).

Un altro caso per il FIP è lo *sliding,* o *floating* FIP, calcolato su base continua come differenza tra il prezzo di mercato e una tariffa di riferimento predeterminata, spesso corrispondente alla FIT (caso 3). Un altro modo è il *Cap and Floor* in cui si trova un minimo predeterminato e un livello massimo, calcolati con l'aggiunta del premio insieme al prezzo di mercato (caso 4).

L'ultimo caso è quello delle quote governative, un sistema basato su quote definite da enti regionali o nazionali, incrementate nel tempo per agevolare l'utilizzo delle RES, renewable energy sources. Si basa sul prezzo di mercato, incrementato da un prezzo certificato, concesso dai governi.

Nel settore del trasporto, gli Stati dell'UE hanno introdotto un sistema di quote che obbliga ad avere una minima percentuale di combustibile sostenibile, per esempio i distributori di petrolio sono obbligati a considerare una percentuale definita di biofuel in ciò che forniscono, calcolata in base alle loro vendite annuali. Nel caso di non adattamento alle percentuali stabilite, si stabiliscono delle multe.

L'ultimo schema a supporto considera **programmi indiretti** come tasse ambientali, misure sul carbonio, pratiche contro il dumping, riduzione di tasse sul valore aggiunto e altre. In comune hanno lo scopo di difendere i produttori di combustibili, agevolando loro l'acquisto di tecnologie per la produzione e semplificandone il processo di vendita.

3.2 Compagnie aeree

Il secondo attore fondamentale di questa Supply Chain sono le airlines.
In Italia Ryanair aumenta gli investimenti sul fronte sostenibile, siglando una partnership con il fornitore di carburanti sostenibili Neste, sopra citato. Il piano è quello di alimentare almeno un terzo dei voli che effettua per l'aeroporto di Amsterdam Schiphol, con una percentuale di SAF pari al 40% (Ryanair, 2022).
Si stima che questa miscela possa ridurre le emissioni di gas serra di oltre il 60%, supportando gli obiettivi di decarbonizzazione di Ryanair Pathway to Net Zero by 2050, un piano messo in atto dalla compagnia aerea per raggiungere la neutralità sostenibile. Ryanair ha investito nel Sustainable Aviation Research Center circa 22 miliardi di dollari, offrendo il 4% di posti lavorativi in più.
La strategia che la Ryanair ha messo in atto per la propria decarbonizzazione a partire da questi anni considera i seguenti obiettivi (Ryanair, https://corporate.ryanair.com/sustainability/):

- Essere completamente neutrale entro il 2050;
- Investimenti ingenti per la costruzione di aeroplani più sostenibili (circa 22 $milioni);
- Immettere 12.5% di carburante SAF entro il 2030;

Nei Paesi Bassi opera la compagnia KLM, che dal 2022 aggiunge una percentuale dello 0.5% di SAF in ogni volo che parte dall'aeroporto principale di Amsterdam e in più permetterà ai suoi clienti di acquistare un biglietto a prezzo maggiorato che abbia una percentuale ancora maggiore di carburante sostenibile. Il supplemento può andare da 1€ ai 12€ a biglietto, in dipendenza dalla distanza percorsa e la tipologia di sedile prenotato. L'ambizione per il futuro è quella di raggiungere il 2% di SAF in ogni volo entro il 2025 e il 10% entro il 2030. Tutto ciò esula dall'imposizione di normative e policies, che effettivamente non sono ancora restrittive, e la compagnia autonomamente infatti ha presentato queste percentuali di sua iniziativa (KLM, Royal Dutch Airlines. https://www.klm.nl/en/information/sustainability/sustainable-aviation-fuel-business-travel).

Anche la Francia con Air France sta cercando di ridurre le proprie emissioni, in accordo con KLM e gli accordi firmati a Parigi del UN Climate Agreement.

Negli USA il presidente Biden ha intrapreso piccoli passi per incrementare l'innovazione intorno a produttori di aerei, compagnie aeree, produttori di carburanti, aeroporti e organizzazioni non governative, per agevolare l'utilizzo dei SAF nell'aviazione americana. Questo risulterà nell'utilizzo e nella produzione di miliardi di litri di SAF, che permetteranno di diminuire le emissioni nel 2030 del 20%. Il presidente degli Stati Uniti cerca di spingere le compagnie aeree all'implementazione dei SAF a prescindere dalle normative vigenti, similmente all'iniziativa della compagnia KLM (The white House, 2021).

In generale in Europa c'è molta attenzione all'aumento dei costi derivati dall'utilizzo dei carburanti sostenibili: l'inevitabile incremento può portare alla pratica del *fuel tankering,* accennato in precedenza. La proposta europea RefuelEU Aviation si prefigge l'obiettivo di imporre regole robuste per tutta l'UE per evitare che l'aumento delle percentuali necessarie di SAF, e di conseguenza i prezzi dei combustibili per ogni volo, generino pratiche illecite e distorsione del mercato interno europeo per il trasporto aereo.
Un fattore essenziale che assicuri l'obbligo generale è la chiarezza e l'uniformità per tutti i fornitori di carburanti, onere che il RefuelEU Aviation si assume. Questa regolazione stabilisce una percentuale minima di SAF, ma non impedisce compagnie e produttori di carburanti di adottarne una maggiore o di ricercare soluzioni più sostenibili autonomamente. Per raggiungere questi obiettivi, le compagnie aeree possono ricercare accordi adeguati con i fuel suppliers per incrementare il loro impatto ambientale positivo. Il RefuelEU non include regole e imposizioni per la commerciabilità dei SAF, il cosiddetto sistema "book and claim", ma impone una baseline da seguire per i due attori, da considerarsi come minima ma migliorabile a seconda delle proprie volontà.

Il sistema ***book and claim*** è necessario come soluzione per le situazioni in cui il trasporto dei SAF in uno specifico aeroporto possa causare una emissione maggiore di CO_2 e sia di difficile realizzazione. Il modello è una pratica comune in cui una dichiarazione di sostenibilità fatta da un'azienda è separata dal flusso fisico di questi beni (definizione secondo lo standard ISO 22095:2020). Per quanto riguarda i SAF, essi sono prodotti e riforniti in pochi Paesi e aeroporti, ciò comporta una certa difficoltà di raggiungimento per molte compagnie aeree e clienti di ogni tipo. Questo sistema è una soluzione che permette alle airlines di comprare SAF senza essere geograficamente connesso al sito di rifornimento. Si tratta di una catena di custodia che riesce a disaccoppiare attributi specifici, come ad esempio i benefici ambientali, dal prodotto fisico e di trasferirli separatamente tramite un apposito registro sotto forma di "credito" (RBS.org, https://rsb.org/book-claim/).

Nell'ambito dell'aviazione, ciò significa che i SAF non vengono fisicamente trasportati e imbarcati sull'aeromobile specifico della persona che copre il premio carburante, va invece nel sistema di alimentazione di un aeroporto vicino all'impianto di produzione SAF. Il volume di SAF che viene prodotto ed immesso nel sistema idrante viene tracciato e verificato, dopodiché i fattori di emissione di carbonio corrispondenti vengono calcolati e assegnati alla persona/organizzazione che copre il premio.

I motivi per cui si adotta questo sistema riguardano di sicuro la maggiore sostenibilità nella supply chain, i SAF sono prodotti in pochissime strutture al mondo, questo meccanismo agevola il loro trasporto e fa in modo di aumentarne la produzione, dato che la domanda è in questo modo in

grado di aumentare. La seconda motivazione riguarda i costi, poiché i SAF hanno un prezzo sicuramente maggiore del combustibile fossile, il sistema *book and claim* cerca di arginare questa differenza permettendo di non separare questi carburanti sostenibili nella supply chain, ma di migliorarne il trasporto e lo spostamento.

È possibile scorporare l'utilizzo dei SAF dalla compagnia rifornita e l'aeroporto da cui parte il volo: se questi due non hanno la possibilità, i mezzi o le normative vigenti non li costringono all'utilizzo dei carburanti sostenibili, con questo sistema è possibile essere indipendenti dalla compagnia aerea e la localizzazione in cui ci si trova, potendo rifornirsi a prescindere dalle due.

La quarta e ultima motivazione è la scelta della percentuale di SAF che si vuole acquistare: è possibile raggiungere la completezza per ogni volo, utilizzando il 100% di SAF senza nessuna limitazione tecnologica di sorta. Un esempio di produttore di carburanti che rifornisce aeroporti e compagnie aeree secondo questo schema è SkyNRG.

La motivazione principale per cui viene utilizzato questo sistema è semplice: il trasporto aereo non considera un singolo aeroporto e molto spesso i voli connettono diversi Stati, in cui normative e regolazioni sono diverse e non è sempre possibile rifornirsi di SAF. Una compagnia aerea può quindi permettersi di avere carburante sostenibile nel punto di partenza ma non è detto che all'arrivo sia possibile rifornirsi di SAF, potrebbe invece essere costretto a un pieno di combustibile fossile. Questo sistema è necessario quando la possibilità di rifornimento è così variabile, permette infatti di far pervenire le percentuali di SAF necessarie nonostante l'aeroporto di arrivo, o partenza, non sia collegato fisicamente a un produttore di carburante di tale natura.

Particolare attenzione è da rivolgere alla pratica del *fuel tankering,* uno studio di Eurocontrol ha stimato che nel 2019 circa il 20% dei voli in Europa hanno utilizzato questa pratica. Si stima che dal 2035 possa essere effettuata maggiormente considerando voli di piccola durata all'esterno dell'UE, per esempio Istanbul-Francoforte o Londra-Dublino, dove le compagnie aeree risparmierebbero tra lo 0.75% e il 3% del costo del combustibile (Eurocontrol, 2019).
A partire dal 2040 questa pratica potrebbe prendere campo anche in voli di maggiore durata, in cui si risparmierebbe circa l'1% (ad esempio in un volo New York-Parigi). L'incentivo per il tankering all'esterno dell'UE nel 2050 si stima essere maggiore per i voli di breve durata, dove si arriva a risparmiare circa il 10%, mentre per la lunga durata il 3% (Eurocontrol, 2019).

I dati suggeriscono che dal 2035 ci potrebbero essere problemi che riguardano queste pratiche illecite, messe in atto dalle compagnie aeree; perciò, normative e leggi che regolino il settore dovrebbero essere introdotte il prima possibile.

In sintesi, le compagnie aeree non sono di per sé obbligate a utilizzare SAF, ma non avranno praticamente scelta. Riceveranno offerte da fuel suppliers con l'opzione SAF-blended già integrata e unica possibile, mentre le compagnie potranno scegliere tra diversi produttori potendo beneficiare del bargaining power (potere di negoziazione). È possibile che le compagnie non abbiano accesso all'opzione SAF in tutti gli aeroporti negli anni intermedi tra 2025 e 2030, mentre si assicura rifornimento in ogni aeroporto a partire dal 2030 (European commission (2021), RefuelEU Aviation). In generale si considera un monitoraggio completo e la validazione di quote di SAF comprate, riportate all'EU ETS o al CORSIA.

In riferimento alla Tabella 2, le possibili policies che potrebbero riguardare le compagnie aeree sono:

- Obbligo di utilizzo di carburante SAF miscelato: obbligo espresso in termini di volume, in aumento ogni anno. Si può definire una imposizione limitata ai voli che partono solo da un aeroporto europeo (a prescindere dal Paese di registrazione della compagnia aerea), oppure coprire voli tra gli aeroporti europei.
- Obbligo di sollevamento di jet fuel: è una misura che previene il *fuel tankering*, consiste nell'obbligare le airlines al rifornimento in ogni aeroporto europeo, prima di partire, con un ammontare necessario e non superiore a poter effettuare il viaggio successivo;
- Obbligo di riportare l'utilizzo di SAF: per ogni compagnia aerea intra-europea viene importo il monitoraggio di quanto SAF viene utilizzato al MRR, Monitoring and Reporting Regulation dell'EU-ETS;
- Penalità per il non rispetto: l'ammontare di una eventuale multa dipende dal quantitativo mancante o eccedente e può essere revisionato ogni anno. Quanto raccolto verrà poi riutilizzato per lo sviluppo delle tecnologie SAF.

3.3 Aeroporti

Gli aeroporti, ma nello specifico la loro infrastruttura, hanno un ruolo fondamentale nell'adozione dei SAF. Bisogna infatti valutare che sia possibile con le risorse a disposizione, ad esempio serbatoi di stoccaggio e miscelazione e gasdotti, adottare le misure necessarie per implementare i SAF. È fondamentale che i SAF arrivino in aeroporto già combinati, per risparmiare tempo e costi e massimizzare l'uso delle infrastrutture e delle competenze esistenti (ACI, 2021).

Tralasciando le varie normative in atto e gli obblighi che riguardano questo terzo attore, quello che gli aeroporti possono fare autonomamente è:

- Incontrarsi con i rappresentanti delle compagnie aeree e altri operatori per determinare il livello di interesse di SAF che possono e vogliono gestire;
- Condurre uno studio per determinare se l'attuale infrastruttura sia sufficiente per la miscelazione e quali miglioramenti dovrebbero essere effettuati;

In Italia ENI è in partnership con l'operatore degli aeroporti di Milano, la Società per Azioni Esercizi Aeroportuali SEA, per la decarbonizzazione del settore aereo attraverso il rifornimento di SAF. Originariamente ENI ha concordato di rifornire SEA (società che gestisce gli aeroporti di Milano) con biofuel per voli privati, ma attualmente conta di rifornire di biofuel di prima generazione, nello specifico derivato da oli vegetali per voli commerciali (Eni.com, https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2022/02/accordo-eni-sea-biocarburante-per-i-voli-commerciali.html).

In Europa la normativa RefuelEU Aviation costringe tutti gli aeroporti dell'UE a possedere l'infrastruttura necessaria alla consegna, stoccaggio e rifornimento di SAF, così come è necessario che vengano fornite informazioni aggiornate e continue da ogni aeroporto dell'Unione Europea.

Nell'Articolo 6 della proposta sono specificati gli obblighi per questo stakeholder, si parla di misure necessarie a facilitare l'accesso per gli operatori ai SAF, di provvedere a rendere l'infrastruttura adeguata e nel caso in cui fossero riportate difficoltà da parte degli operatori di soddisfare le quantità minime di SAF necessarie, l'European Union Aviation Safety Agency può richiedere all'aeroporto dell'UE motivazioni e documenti di attestazione per la conformità della propria infrastruttura.

La competitività degli aeroporti viene ad essere influenzata dagli obblighi e dalle varie policies che la normativa vuole mettere in atto. I prezzi dei SAF sono in grado di minare gli equilibri e di rendere più vulnerabili piccoli e remoti aeroporti, dove i prezzi dei combustibili normali sono già in media più alti. I SAF quindi potrebbero ridurre l'attrattività economica di insulari e piccoli aeroporti, a favore di grandi e medi. Questo aspetto è mitigabile secondo le policies C1 e C2, in cui i supplier distribuiscono SAF miscelato in modo cost-effective almeno fino al 2035 (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

Secondo questo scenario, in cui i SAF incrementano i costi dei carburanti, i supplier probabilmente riforniranno maggiormente aeroporti di medie e grandi dimensioni; perciò, aeroporti che competono nella stessa categoria di livello di traffico saranno influenzati allo stesso modo, mentre evidenti discrepanze possono insorgere tra aeroporti di diverse dimensioni.

Gli aeroporti di passaggio intrinsecamente possiedono grandi traffici, poiché collegano quelli di piccole dimensioni e di per sé sono grandi, per questo si prevede che non saranno esposti al rischio di perdita di competitività.

Si potrebbe generare uno svantaggio economico per gli hub solo se i passeggeri, per ragioni economiche, decidessero di evitare lunghe rotte da un hub dell'UE, ma optassero per scali in aeroporti più vicini di piccole dimensioni non dell'UE. Questo rischio potrebbe materializzarsi se il prezzo del biglietto aereo per queste lunghe tratte aumentasse poiché l'aeroporto di provenienza è europeo ed è soggetto a normative di introduzione incrementale di SAF, che ne aumenterebbe inevitabilmente i costi. Le previsioni considerano un aumento di prezzo, sotto le direttive del RefuelEU, di un punto percentuale nel 2030 e cinque punti percentuali entro il 2040, per tutti gli aeroporti soggetti alla proposta, incremento di prezzo che si suppone sarà sopportato solo ed esclusivamente dai passeggeri, che si vedranno aumentare le tariffe per viaggiare.

Per quanto riguarda la proposta RefuelEU, gli aeroporti sono da considerarsi neutrali: non ci si aspetta che giochino un ruolo fondamentale nell'incremento dell'utilizzo dei SAF, ma la loro infrastruttura e la logistica rende più facile o meno la loro introduzione. I serbatoi per i combustibili non devono incrementare di dimensione, non devono cambiare i loro connotati poiché i SAF giungono a destinazione già miscelati e pronti per l'utilizzo, proprio come i combustibili fossili. Per questo motivo, una carente logistica di partenza può minare notevolmente la possibilità di agevolare il loro utilizzo, ma non è richiesta una particolare innovazione nel sistema.

In molte località, l'uso iniziale di SAF è iniziato attraverso voli pilota con limitata durata di tempo. La preparazione per tali prove ha fornito l'opportunità di far progredire la comprensione dei SAF e il loro funzionamento. Ci sono esempi di aeroporti che hanno già completato questo periodo iniziale di prova (tra cui Oslo, San Francisco, Los Angeles, Toronto Pearson e Heathrow) (ACI, 2021).

3.4 Società

Ci si aspetta che la società sia la maggior beneficiaria dello sviluppo sostenibile del trasporto aereo. I rischi legati all'inquinamento portano notevoli esternalità negative, che influenzano in primis la salute mondiale. L'introduzione di normative che definiscono come raggiungere la neutralità dal carbonio entro il 2050 permettono una importante riduzione delle emissioni di CO_2, generando effetti migliorativi nella qualità dell'aria, nell'abbassamento delle temperature e nell'aspettativa di vita.

L'aspetto negativo intacca i passeggeri del trasporto aereo, che vedranno un notevole incremento delle tariffe per viaggiare: l'utilizzo dei SAF porta le compagnie aeree a sopportare costi OPEX maggiori, che saranno passati direttamente al cliente del volo. Ciò significa un basso aumento dei costi per biglietto (se divisi per tutti i passeggeri), complessivamente l'aumento dei costi supera la riduzione dei costi esterni.
La società europea dovrebbe beneficiare di ampi impatti macroeconomici **positivi** indiretti sotto forma di un aumento significativo dell'occupazione. Secondo IRENA la stima di nuove posizioni lavorative, dirette o indirette, create grazie ai biofuel liquidi nel 2019 è intorno a 208.000 (IRENA, 2019). Ciò significherebbe che per il 2030 ci si possa aspettare, con una produzione di SAF pari a 0.6 megatonnellate, una creazione di nuovi lavori per l'ammontare di circa 5.300, per la policy B2 e 17.600 nuove posizioni per le restanti policies, in cui si producono 1.8 megatonnellate di SAF. Nel 2050 si può arrivare rispettivamente a 779.700 e 248.000 (Giannis Giannelos e altri, 2021).

Le esternalità **negative** correlate alle emissioni di CO_2 considerano aspetti fondamentalmente legati alla salute mondiale, per esempio la vulnerabilità agli eventi estremi di caldo è aumentata costantemente dal 1990 in ogni regione. Tra le maggiori problematiche dovute al cambiamento climatico troviamo l'inquinamento dell'aria, l'incremento di soggetti allergici, insicurezza del cibo ingerito, disturbi della salute mentale, inondazioni, nubifragi e incendi (Climate and Health, 2022).

Considerato che il 70% dei cittadini europei vive in aree urbane, dove la densità di popolazione è molto elevata e le attività economiche sono frenetiche, moltissime persone sono esposte ai rischi dell'inquinamento dell'aria. Secondo le direttive europee del Green Deal, la commissione europea si prefigge l'obiettivo nel 2030 di ridurre il numero di morti premature del 55%, a confronto con i numeri registrati nel 2005 (EEA, https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards). Com'è noto, comunque la diminuzione dei trasporti e la riduzione delle attività economiche avvenuta nel 2020 a causa della pandemia da Covid-2019 ha permesso una minore esposizione mondiale alle tossine negative dell'aria, generate dall'emissione dei gas serra. Questo non ha permesso la permanenza della situazione, che con l'aprirsi delle istituzioni, è tornata praticamente al punto di partenza.

4 Analisi economiche

4.1 Costi di produzione

La più grande problematica riguardante i SAF sono i loro costi di produzione; infatti, attualmente non sono prodotti su larga scala e non beneficiano delle economie di scala, per questo sia gli OPEX che i CAPEX sono più elevati rispetto al combustibile fossile. A seconda di quale dei 5 processi di conversione viene utilizzato, il costo di produzione dei SAF può essere tra le 1.5 o 6 volte più alto del combustibile convenzionale (Giannis Giannelos, 2021).

I SAF sono carburanti *drop-in*, ciò significa che possono essere introdotti nel serbatoio di un qualsiasi velivolo che utilizza carburanti convenzionali. Dato che gli aeroporti possono accettare solo carburanti certificati, i SAF devono essere integrati nella filiera a monte, ovvero nelle raffinerie di petrolio o grandi centri, dove è possibile l'utilizzo di strutture di miscelazione. Il carburante miscelato viene poi introdotto negli aeroporti tramite gasdotti, senza **costi logistici** aggiuntivi (European commission 2021, RefuelEU Aviation).

4.1.2 Tecnologia

Il costo così alto dei SAF dipende dalla quasi inesistenza delle economie di scala e dall'avanzamento molto lento della **tecnologia**, entrambi freni che pongono grandi limitazioni all'imposizione dei SAF nel mercato dei trasporti aerei. Nel momento in cui la tecnologia evolvesse in maniera adeguata, le economie di scala potrebbero essere possibili e l'introduzione dei carburanti sostenibili essere velocizzata. La tecnologia risulta un tassello chiave sia per la parte economica del trasporto aereo, sia per la sostenibilità dei voli. Infatti, al momento le tecnologie più costose sono quelle meno impattanti sull'ambiente e viceversa, le tecnologie e fabbricazioni standard sono caratterizzate da emissioni elevate.

Secondo uno studio condotto dall'ICAO, nel 2018 erano in servizio diverse tipologie di velivoli (ICAO, Appendix M3, Technology, 2022):

- Business Jet (BJ) con meno di 20 posti;
- Turboprop (TP), con 20-85 posti;
- Regional Jet (RJ), 20-100 posti;
- Narrow Body (NB), con 101-210 posti;
- Wide Body (WB), con più di 210 posti.

Ognuno di questi aerei assume un carico utile di diverse tonnellate, a partire dal BJ, che considera un carico di 8 passeggeri e per ognuno circa 100kg, con bagaglio, fino a WB che ipotizza un numero di passeggeri pari a 325 e per ognuno poco meno di 100 kg.

È ormai risaputo che le emissioni di CO_2 dipendono non solo dal carburante utilizzato, ma anche dall'efficienza aerodinamica, dai materiali utilizzati, dalle strutture presenti o anche dalle tecnologie di propulsione considerate. Per raggiungere obiettivi di riduzione di emissioni, non

bisognerebbe trascurare questi aspetti. Nell'ultimo decennio sono stati introdotti nel mercato diversi aerei a corridoio doppio, con miglioramenti tecnologici significativi, si tratta del caso del nuovo Boeing B777-9 che possiede un'ala composita che permette efficientamento energetico, oppure dei nuovi veicoli a corridoio singolo, come Airbus A220-100 e A220-300, che presentano aggiornamenti tecnologici di propulsione in grado di ridurre il consumo di carburante in maniera netta (ICAO, Appendix M3, Technology, 2022).

Programmi di ricerca europei e mondiali che prevedono la cooperazione tra governo e mondo accademico, continuano a essere fattori chiave per far avanzare e maturare le tecnologie che portano a ridurre l'impronta ambientale dell'aviazione. Svariati progetti per l'efficientamento della propulsione elettrica, per flussi laminari e avanzamento dello stato dell'arte sono attualmente in atto globalmente. Il problema di fondo rimane la necessità di tempo per lo sviluppo delle tecnologie: la sola maturazione di un processo innovativo può richiedere fino ai 10 o 20 anni.

Alcuni progressi per quanto riguarda i materiali, le strutture e l'aerodinamica possono consentire una significativa riduzione delle emissioni grazie all'aumento dell'apertura alare effettiva degli aerei. Una modifica del genere consente sia di essere più sostenibili, sia un miglioramento delle prestazioni in salita con riduzione dei rumori e usura del motore.

Secondo l'ICAO si possono ipotizzare quattro diversi scenari: IS0, IS1, IS2, IS3 a seconda di come la tecnologia, l'evoluzione dei carburanti e la parte operativa evolvono. Tralasciando il primo scenario, che non considera cambiamenti sostanziali dei tre fattori menzionati, gli altri tre scenari presentano diverse condizioni di miglioramento e riduzioni di emissioni dell'aviazione.

Nei vari scenari, i costi da considerare riguardano proprio l'avanzamento della tecnologia, l'evoluzione dei SAF e la parte operativa. Nel **primo scenario** ci troviamo nella fascia di potenzialità più bassa, in cui le emissioni non vengono ridotte drasticamente e le tecnologie di produzione sono considerate raggiungibili nel breve tempo. Uno dei costi da considerare è quello per l'avanzamento della tecnologia, si dovrebbero prevedere investimenti da parte dei produttori di aeroplani pari a circa 180$miliardi tra il 2020 e il 2050, ovvero circa 6$ miliardi ogni anno. Il governo deve supportare la crescita con investimenti per R&D (ricerca e sviluppo) per circa 15-180$ miliardi fino al 2050. Un risparmio possibile per quanto riguarda i costi del carburante si potrebbero aggirare intorno ai 710$miliardi dal 2020 al 2050, ma non escludendo un investimento per l'efficientamento degli aeromobili (entrambi, risparmi e costi, sarebbero da imputare alle compagnie aeree) (ICAO, Appendix R1, 2022).

I costi da sostenere riguardano anche le operazioni: investimenti da parte degli aeroporti ammontano a 2$miliardi (nei 30 anni), anche i fornitori di servizi di navigazione aerea, detti anche ATS (che possono essere pubblici o privati, come dipartimenti governativi, compagnie pubbliche o organizzazioni private) dovrebbero mettere in conto un investimento pari a circa 11$miliardi. Un costo delle operazioni è da imputare anche alle compagnie aeree, con circa 40$miliardi. Anche per questi attori ci sarebbe un risparmio di circa 210$miliardi, da considerare sui 30 anni successivi (2020-2050), per arrivare a 170$ di risparmio netto per le airlines.

Ultimo tassello dei costi sono i carburanti, i SAF generati da biomasse (quelli di prima generazione) necessitano un investimento pari a 480$miliardi entro il 2050, trecento dei quali si suppone verranno sostenuti dalle compagnie aeree. I SAF generati da combustibili di origine gassosa (la

materia prima è il monossido di carbonio o l'anidride carbonica) necessitano di investimenti più elevati, per circa 710$miliardi per i fuel supplier e 770$miliardi per le compagnie aeree.

Di seguito una tabella riassuntiva che mostra gli investimenti in miliardi di dollari per ogni attore e per quale attività:

Dati in miliardi $, investimenti totali da considerare per gli anni 2020-2050

IS1	Istituzioni governative	Fuel Supplier	ATS	Airlines	Aeroporti
Tecnologia	15-180	150-380		-710	
Operations	N.D.		11	-170	2
Fuel	N.D.	1190		1070	
Risparmio				-880	
Totale	15-180	1340-1570	11	190	2

TABELLA 4-COSTI PER GENERAZIONE E ATTORE, PRIMO SCENARIO ICAO. FONTE: ELABORAZIONE ATTRAVERSO I DATI LTAG, ICAO APPENDIX R1

Si nota che l'attore con i costi maggiori in questo scenario sono le compagnie aeree, si ritrova la giustificazione di questo nel fatto che il presente scenario non considera un incremento notevole delle tecnologie; quindi i SAF che maggiormente verrebbero utilizzati sono quelli di prima generazione e in minima parte gli advanced biofuel. I costi che bisogna sostenere non sono CAPEX (CAPital EXpenditure, ovvero i costi di investimento iniziale, che vengono sostenuti dai fuel supplier), ma la maggior parte dei costi è rappresentato dagli OPEX (OPerational EXpenditure, costi per la gestione).

Per esempio, il percorso HEFA, uno dei 5 definiti da ASTM, l'ente degli standard internazionali di questo settore, considera almeno il 50% dei costi derivati dall'acquisto della materia prima, come l'olio da cucina (UCO) (European commission (2021), RefuelEU Aviation).

Si consideri che i SAF di riferimento sono di generazione da biomassa o scarto di gas CO o CO_2.

I costi per le istituzioni governative potrebbero includere le operations e i carburanti, ma non ci sono dati a sufficienza per stimarli (N.D=non disponibile).

Il secondo scenario è IS2. Tecnologie di produzione e certificazione dei carburanti sono processi di media raggiungibilità, esistono tecnologie più avanzate e le economie di scala sono maggiori. I SAF considerati sono gli advanced biofuel e in minima parte gli RFNBOs.

La seguente tabella illustra il secondo scenario:

Dati in miliardi $, investimenti totali da considerare per gli anni 2020-2050

IS2	Istituzioni governative	Fuel Supplier	ATS	Airlines	Aeroporti
Tecnologia	75-840	260-990		-740	
Operations	N.D.		14	-240	3
Fuel	N.D.	2200		2600	
Risparmio				-980	
Totale	75-840	2460-3190	11	1620	3

TABELLA 5-COSTI PER GENERAZIONE E ATTORE, SECONDO SCENARIO ICAO. FONTE: ELABORAZIONE ATTRAVERSO I DATI LTAG, ICAO APPENDIX R1

In questo caso i CAPEX risultano più elevati, gli investimenti maggiori sono da imputare ai fuel suppliers per l'avanzamento delle tecnologie necessarie allo sviluppo dei SAF di seconda generazione (possono arrivare anche a quasi 1000$miliardi). Gli OPEX sono minori ma presenti (1620$miliardi a confronto con 1780$miliardi dello scenario IS1), maggiormente sostenuti dalle compagnie aeree, che anche in questo caso però usufruiscono dei benefici della diminuzione dei costi dei fuel, grazie agli investimenti affondati dei produttori di combustibili. Essendo maggiori i CAPEX, maggiori sono i benefici, minori i costi di gestione annuale per le compagnie aeree.

L'ultimo scenario, IS3, considera un avanzamento delle tecnologie elevato: i SAF utilizzabili sono non drop-in, è possibile l'utilizzo di idrogeno verde e RFNBOs, la diminuzione delle emissioni è massima.
Per questo scenario sia i CAPEX che gli OPEX risultano più elevati, sia le infrastrutture a supporto, da parte degli aeroporti e dagli ATS, sia gli investimenti per l'evoluzione tecnologica che permettano ai RFNBO di emergere sono necessarie.

Dati in miliardi $, investimenti totali da considerare per gli anni 2020-2050

TABELLA

IS3	Istituzioni governative	Fuel Supplier	ATS	Airlines	Aeroporti
Tecnologia	75-850	260-1000		-740	
Operations	N.D.		20	-355	6
Fuel	125	3225		4070	
Risparmio				-1095	
Totale	200-975	3485-4225	20	2975	6

6-COSTI PER GENERAZIONE E ATTORE, TERZO SCENARIO ICAO. FONTE: ELABORAZIONE ATTRAVERSO I DATI LTAG, ICAO APPENDIX R1

4.1.3 Materie prime

L'utilizzo del suolo (LUC, land-use-change) è un'importante fonte di emissioni di GHG che ha contribuito alla produzione di 660 ± 290 Gigatonnellate di CO_2 nel periodo dal 1750 al 2011. La maggior parte dell'utilizzo del suolo è dovuta alla domanda di cibo, fibre e combustibili. La conversione della vegetazione naturale o delle foreste per coltivare materie prime di biocarburanti rilascia una quantità significativa di carbonio dal suolo e dalla biomassa vegetale, creando un "debito di carbonio" che può richiedere anni per essere ripagato. Inoltre, la coltivazione di materie prime per la formazione dei biocarburanti su terreni ad alto contenuto di carbonio nel suolo, come le torbiere, porta a un aumento considerevole delle emissioni di gas a effetto serra.

Oltre all'aumento delle emissioni di gas a effetto serra, i cambiamenti nell'uso del suolo possono avere altre conseguenze ambientali, come l'erosione del suolo, l'esaurimento dei nutrienti, il consumo di acqua e la perdita di biodiversità. La LUC relativa ai biocarburanti può avvenire in due modi: diretta (DLUC) o indiretta (ILUC). Come sopra accennato, l'utilizzo diretto (DLUC) si riferisce alla trasformazione diretta di aree precedentemente incolte (come prati e foreste) in terreni coltivati per la produzione di materie prime di biocarburanti. Mentre il termine ILUC si riferisce a una domanda aggiuntiva di materie prime per biocarburanti che induce lo spostamento della produzione di cibo e colture foraggere in nuove aree di terra precedentemente non utilizzate per la coltivazione (Environmental impacts of biofuels, 2020).

Alcuni studi stimano che vi sia una base di risorse sufficiente per sostenere circa 3.4 milioni di tonnellate di produzione di SAF all'anno, circa il 5.5% del carburante aereo totale che si suppone verrà utilizzato nel 2030, senza tenere conto di barriere politiche o economiche (ICCT WORKING PAPER, 2021-13).

Questo potenziale di produzione è stato stimato tenendo conto della disponibilità delle materie prime, i limiti oltre i quali non si è più possibile considerare la raccolta sostenibile e i rendimenti di conversione dei vari processi realizzativi.

Diverse sono le materie prime che possono generare un SAF, l'olio da cucina usato (UCO), grassi animali e altri acidi grassi, il legno o le microalghe. La realizzazione dei carburanti sostenibili di prima generazione rimane quella più economica e più facile grazie alla metodologia di conversione e le tecnologie presenti: HEFA è uno dei processi più economici al momento, con costi di produzione a partire da 0.88€/lt fino a 1.09€/lt, solamente il doppio del combustibile fossile, mentre altri processi di conversione costano quasi fino a otto volte il prezzo del carburante petrolifero. (Pavlenko, N., Searle, S., & Christensen, A., 2019). Un vantaggio di questi è l'infrastruttura ormai già a sostegno per grandi dimensioni di volumi di produzione. Un esempio è Neste, il produttore finlandese di carburanti, che gestisce due impianti in grado di produrre quasi un milione di tonnellate di oli, una parte dei quali viene utilizzato per il trasporto aereo sostenibile (ICCT WORKING PAPER, 2021-13).

Diversa è la realizzazione dei SAF di seconda generazione: la cellulosa contiene lunghe catene polimeriche organiche di difficile scomposizione, che richiede un pretrattamento approfondito prima del vero e proprio trattamento. Nonostante ciò, queste materie prime sono più abbondanti rispetto ai grassi di scarto e permettono un risparmio di emissioni maggiori.

I costi di produzione, perciò, dipendono dalla materia prima utilizzata e dal percorso di conversione utilizzato. Secondo un'analisi condotta da (Nikita Pavlenko, Stephanie Searle, and Adam Christensen) nel 2019 il percorso più economico rimane HEFA, con circa il doppio del combustibile fossile. Il percorso FT, gas di sintesi cherosene paraffinico sintetizzato Fischer-Tropsch, è il secondo più economico a causa di CAPEX più elevati per il processo più raffinato di conversione, che si basa su tecnologie di precisione più avanzate e meno sviluppate.

Il problema dell'idrogeno verde rimane il costo dell'energia rinnovabile in Europa.

Di seguito una tabella riassuntiva:

Percorso di conversione	Materia prima	Costo totale	Percentuale del costo derivato dal feedstock
HEFA	Olio di soia	1,09	50%
	Olio di palma	1	
	Grassi acidi di palma	0,95	
	UCO	0,88	
FT	MSW	1,34	0-20%
	Residui agricoli	1,7	
	Cellulosa	1,87	
PTL	Idrogeno verde	2,35	70%
ATJ	Mais	1,7	20%

	Canna da zucchero	1,68	30%
	Residui agricoli	2,35	13%
	Cellulosa	2,45	15%
SIP	Melassa di canna da zucchero	3,8	7%

TABELLA 7 – COSTI DI PRODUZIONE €/LT PER PERCORSO DI CONVERSIONE, CON PERCENTUALE DI COSTO DELLA MATERIA PRIMA. FONTE: PAVLENKO, 2019

Lo studio dell'International Council on Clean Transportation (ICCT) (ICCT WORKING PAPER, 2021-13) ha stimato le quantità di materie prime necessarie per il 2030, la relativa percentuale di domanda per SAF e la massima produzione in Megatonnellate:

Feedstock	Available feedstock quantity (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2030 Jet fuel demand
Waste FOGs	2.4	1.2	1.9%
Agricultural residues, cover crops	83.7	0.9	1.4%
Forestry residues	5.1	0.2	0.3%
Municipal and industrial waste	21.2	0.3	0.4%
Industrial flue gases	12.1	0.8	1.2%
Electrofuels	-	0.1	0.2%
Total	124.4	3.4	5.5%

FIGURA 14 – PRODUZIONE SAF NEL 2030, DIVISA PER MATERIA PRIMA NECESSARIA. FONTE- ICCT, 2021

La produzione massima in Mt risulta 3.4, che corrisponde al 5.5% della produzione totale di carburante per il trasporto aereo, realizzabile con diverse materie prime per una quantità totale di 124.4 Mt. Questa analisi dimostra che l'idrogeno ha costi proibitivi senza un sostegno politico adeguato, a causa della combinazione di elevato consumo energetico e l'alto prezzo di energia elettrica rinnovabile. Se anche il suo costo di pareggio fosse cinque volte più alto del combustibile fossile nel 2030 il suo contributo possibile sarebbe di solo 0.2% del carburante per jet. Nel lungo periodo invece è possibile che con investimenti anticipati e forti sostegni politici, potrebbero contribuire alla decarbonizzazione dell'aviazione.

L'analisi dell'ICCT rileva una base di risorse per espandere l'utilizzo dei SAF rispetto ai livelli attuali, con elevati risparmi di carbonio. Il problema fondamentale rimane la necessità di notevoli incentivi finanziari per superare le barriere economiche e tecniche: la disponibilità limitata di materie prime

più performanti suggerisce che la produzione di SAF da sola non può rispettare gli obblighi di riduzione dei gas serra a lungo termine.

4.2 Tariffe aeree

Ci si aspetta che con l'introduzione dei SAF ci sia un conseguente aumento di prezzi per l'acquisto dei biglietti aerei. Il caso KLM è emblematico: dall'inizio di quest'anno la compagnia aerea olandese ha iniziato a miscelare il carburante sostenibile con quello tradizionale, aumentando i prezzi della classe Economy da 1 a 4 € in più, mentre la prima classe presenta un incremento di tariffe da 1.5 a 12€.

Per quanto riguarda il prezzo del carburante in generale, recentemente con lo scoppio della guerra tra Russia e Ucraina questo è notevolmente aumentato, portando le compagnie aeree ad aggiungere un supplemento per il carburante in ogni volo: in Italia è stato stimato circa il 30-40%, fino a punte del 70% del peso del biglietto, ad esempio diciotto euro di tariffa base per volare da Milano (Malpensa) a Miami, passando Istanbul (L'economia. Leonard Berberi, 2022).

Secondo alcuni studi (Eurocontrol 2020) ci sono poche evidenze che la tassazione possa portare a una riduzione delle emissioni; infatti, il Regno Unito che presenta il tasso maggiore di tassazione (fino quasi a 40£ per passeggero), continua a essere il più inquinante con il trasporto aereo. La tassa del Regno Unito viene chiamata "UK Air-Passenger Duty", un'accisa per ogni aereo che pesi almeno 5.7 tonnellate e con più di venti posti a sedere, che parte da ogni aeroporto del UK. È stata introdotta nel 1994 e il suo valore massimo è stato toccato nell'aprile del 2022 con 555£ per passeggero. Nonostante l'elevato ammontare della tassazione, le emissioni nel Regno Unito sono in continuo aumento anche se si verificano piccole riduzioni di domanda del trasporto aereo. Per questo motivo sembra che la tassazione non sia il modo migliore di diventare sostenibili e ridurre le emissioni, mentre diversi studi dimostrano che altri fattori come restrizioni, PIL pro capite e domanda di trasporto aereo influenzano maggiormente il numero di voli, rispetto a qualsiasi aumento del prezzo del carburante.

Un altro studio dell'International Air Transport Association del 2008 (IATA, 2008), condotto per stimare l'elasticità della domanda del trasporto aereo, mostra un'evidente correlazione tra la richiesta di viaggiare e le tariffe per farlo. Questo studio permette di credere che qualsiasi azione politica di incremento delle tariffe, come la tassazione, comporterebbe un calo della domanda, a differenza di quanto creduto da Eurocontrol. Questo studio ha calcolato le diverse elasticità della domanda sulla base di:

- Prezzo
- Reddito
- Area geografica
- Lunghezza del percorso

L'analisi mostra le seguenti elasticità:

	Route/Market level		National level		Supra-national level	
	Short-haul	Long-haul	Short-haul	Long-haul	Short-haul	Long-haul
Intra N America	-1.5	-1.4	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6
Intra Europe	-2.0	-2.0	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8
Intra Asia	-1.5	-1.3	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6
Intra Sub-Saharan Africa	-0.9	-0.8	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4
Intra S America	-1.9	-1.8	-1.1	-1.0	-0.8	-0.8
Trans-Atlantic	-1.9	-1.7	-1.1	-1.0	-0.8	-0.7
Trans-Pacific	-0.9	-0.8	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4
Europe-Asia	-1.4	-1.3	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5

FIGURA 13 – ELASTICITÀ PER LE TARIFFE AEREE. FONTE: IATA, 2008.

La lunghezza del percorso è stata considerata per ogni analisi: short-haul considera viaggi di breve durata, in genere che partono e arrivano nella stessa nazione. Si nota subito che l'elasticità è maggiore se il viaggio è breve, come ci si aspetterebbe dato che l'effetto sostituzione con diversi altri mezzi di trasporto è applicabile. Un'altra considerazione è stata effettuata sulla base della zona: all'interno dell'Europa l'elasticità risulta maggiore che in tutti gli altri continenti, in considerazione del fatto che l'effetto sostituzione è ancora applicabile data la grandezza degli stati europei e la facilità di spostamento con altri mezzi di trasporto via terra.

Ci sono tre elasticità diverse: route-level, national level e supra-national level. La prima si applica a una situazione in cui il prezzo di una singola rotta può variare: ad esempio la tariffa per Varsavia-Coventry aumenta ma il prezzo delle rotte da Varsavia verso altre destinazioni non cambia. Il national level è una combinazione dell'elasticità del prezzo proprio della rotta e l'elasticità incrociata del prezzo quando tutte le rotte nazionali hanno prezzi che variano in modo identico, per esempio una rotta di provenienza dalla nazione A e che giunge nella nazione B presenta variazioni di prezzo simili, ma rotte che partono dalla nazione A e giungono in C no: ad esempio Polonia-UK ma non Polonia-Germania. L'ultimo caso considera una variazione di prezzi uniforme per ogni rotta che parte da A.

Dalla figura 13 si nota che le elasticità, ovviamente sempre negative perché all'aumento del prezzo diminuisce la domanda, sono maggiori in valore assoluto nel route-level rispetto al national-level, mentre le minime sono riscontrate nel supra-national level, per la stessa fascia geografica. La motivazione si ritrova nella l'applicabilità: più piccola e ristretta è la variazione di prezzo, più elastica sarà la risposta. Quanto più generale è l'applicabilità di una variazione di prezzo (forse dovuta a costi o tasse più elevati), tanto meno elastica sarà la risposta: nel route-level infatti il cambiamento di prezzo è solo per una rotta della nazione, il che può portare i passeggeri a scegliere un'altra meta per le vacanze o fare scalo in un altro aeroporto. Più si allarga il campo di applicazione, più questo non risulta più vero: nel national-level un passeggero che deve partire necessariamente dalla nazione A e giungere nella B ha molte meno possibilità di scalo e si ritrova costretto a cambiare nazione per le vacanze, se il biglietto aereo risulta troppo costoso. L'ultimo caso rende impossibile un cambiamento di volo se il passeggero parte da una determinata

nazione, le tariffe per qualsiasi parte del mondo sono incrementate per ogni destinazione. Il tutto presenta la suddivisione tra viaggi brevi e viaggi lunghi: minori chilometri da percorrere sono più elastici per la presenza di altri mezzi di trasporto utilizzabili.

La conclusione di questo studio econometrico del 2008 è stata unanime per gli economisti dell'aviazione: la domanda di servizi aerei è generalmente elastica sia in termini di prezzo che di reddito (ogni individuo è influenzato dal proprio reddito nella scelta della quantità del bene da acquistare, la domanda aumenta più che proporzionalmente al reddito posseduto). Un bene che sia elastico al reddito è da considerarsi di lusso, il punto sostanziale è che il trasporto aereo è elastico anche al prezzo, il che significa che la domanda del trasporto aereo per ogni individuo è influenzata sia dal costo che dal reddito personale.

Quando i consumatori scelgono tra diverse compagnie aeree su una rotta, o anche tra destinazioni per vacanze, luoghi per conferenze o altre motivazioni che non considerano un cambio di destinazione, c'è un certo grado di elasticità del prezzo per i posti delle compagnie aeree: scelgo la compagnia aerea meno costosa per il tratto considerato, che non posso o voglio cambiare. Tuttavia, se tutte le compagnie aeree concorrenti impongono su una rotta, o su un'ampia gamma di rotte che subiscono tutti lo stesso aumento proporzionale dei prezzi, la domanda di servizi aerei diventa meno elastica, non posso scegliere la compagnia aerea migliore perché tutte hanno incrementato le tariffe. Poiché un aumento dei prezzi viene esteso a gruppi sempre più grandi di compagnie aeree concorrenti o destinazioni concorrenti, la domanda complessiva di viaggi aerei si rivela alquanto anelastica al prezzo ma date queste condizioni, sempre più elastica al reddito: un passeggero meno interessato al risparmio non si cura degli incrementi dei prezzi applicati da tutte le compagnie aeree. Questa condizione si applica anche ai viaggi di lavoro che considerano le rotte non cambiabili e le tariffe aeree a spese dell'azienda. Ci sono varie implicazioni per le precedenti riflessioni, e sono le seguenti:

1. Una singola compagnia aerea che incrementa le proprie tariffe si troverà a gestire ricavi più che proporzionalmente inferiori all'aumento dei prezzi (ovvero le tariffe aeree della singola compagnia sono molto elastiche al prezzo: un passeggero cambia compagnia aerea ma viaggia come ipotizzato);
2. Se l'incremento delle tariffe è proporzionale per ogni compagnia nella stessa rotta, questa diminuzione dei ricavi si verificherà ma in proporzioni inferiori (può accadere a causa di imposizioni di aeroporti di provenienza o destinazione, si verifica quindi per tutte le compagnie e questi costi in più da sostenere vengono passate dalle airlines ai passeggeri);
3. Se le imposizioni sono per tutte le compagnie e da tutti gli aeroporti, per esempio a causa di una tassazione che comprende l'intero trasporto aereo, la diminuzione del traffico aereo sarà molto meno che proporzionale all'aumento delle tariffe (gli aumenti generali delle tariffe aeree in un'ampia gamma di mercati sembrano essere anelastici in termini di prezzo).

Le regolamentazioni europee, con il RefuelEU, e mondiali dettate dall'ICAO con il CORSIA, sono da considerarsi rientranti nell'ultimo caso: le compagnie aeree infatti sono tutte soggette a

incrementi percentuali annuali di SAF, che portano a un inevitabile aumento dei prezzi dei carburanti, costi che in seguito passeranno ai passeggeri.

Per quanto riguarda le tariffe europee e l'ipotesi del loro aumento, il RefuelEU basa le proprie stime per l'incremento delle tariffe su diverse assunzioni: in primo luogo il costo aggiuntivo del carburante dovuto all'acquisto di SAF viene interamente trasferito ai passeggeri, con conseguente aumento del prezzo del biglietto. Gli aumenti del prezzo dei biglietti potrebbero essere inferiori se le compagnie aeree assorbissero parte dei costi aggiuntivi, il che significa che in questa prima ipotesi, senza il cuscinetto delle airlines, l'impatto diventa massimo per i passeggeri e interamente previsto nel prezzo del biglietto. Una seconda ipotesi per il calcolo considera una quota dei costi del carburante sui costi totali dell'aviazione del 25%, cioè il limite superiore dell'intervallo stimato della quota dei costi del carburante sul totale dei costi del trasporto aereo, che in letteratura si aggira tra il 17% e il 25%.

Sulla base di queste assunzioni il costo dei carburanti per ogni option definita nel capitolo 2.2 (Giannis Giannelos e altri, 2021):

	2030	**2040**	**2050**
PO A1	3.3%	22.2%	32.7%
PO A2	3.1%	21.5%	32.5%
PO B1	3.3%	22.2%	32.7%
PO B2	0.5%	4.2%	6.9%
PO C1	3.3%	22.3%	21.7%
PO C2	3.1%	21.5%	32.5%

TABELLA 8 – AUMENTO DEI COSTI DEL CARBURANTE PER OPTION DEFINITE NEL REFUELEU.

FONTE: STUDY SUPPORTING THE IMPACT ASSESSMENT OF THE REFUELEU AVIATION INITIATIVE, 2021

La policy che presenta un valore nettamente diverso è la B2, che considera un obbligo percentuale di SAF solo per i voli intra-europei. L'incremento del costo è razionalmente in aumento negli anni dato l'aumento percentuale minimo dei SAF.

Un'analisi simile è stata svolta per i prezzi dei biglietti:

	2030	**2040**	**2050**
PO A1	0.8%	5.6%	8.2%
PO A2	0.8%	5.4%	8.1%
PO B1	0.8%	5.6%	8.2%
PO B2	0.1%	1.1%	1.7%
PO C1	0.8%	5.6%	8.2%

PO C2	0.8%	5.4%	8.1%

TABELLA 9 – AUMENTO DELLE TARIFFE AEREE PER OPTIONS. FONTE: STUDY SUPPORTING THE IMPACT ASSESSMENT OF THE REFUELEU AVIATION INITIATIVE, 2021

In maniera simile ai costi del carburante, anche in questo le tariffe presentano una sostanziale differenza per la policy B2 e sono in aumento nel futuro.

4.3 Proposte regolatorie per l'impiego di SAF a volumi crescenti

Secondo le varie proposte regolatorie, europee e mondiali, le percentuali di SAF sono destinate ad aumentare. Il RefuelEU ipotizza un utilizzo dei carburanti sostenibili miscelati nei serbatoi a partire dal 4% all'8% nel 2030, fino ad arrivare al 68% nel 2050. Proprio per questo aumento di utilizzo nel tempo si rendono necessari policy e mandati che regolino il settore.

Si parla di miscelazione poiché, come accennato in precedenza, i SAF non sono introdotti nei serbatoi così come sono creati, ma vengono uniti ai combustibili tradizionali. Il processo di miscelazione può avvenire in punti intermedi di stoccaggio, i cosiddetti *fuel terminals,* oppure direttamente negli aeroporti (ACI, 2021).

Ci sono però delle differenze tra i due casi, poiché nei *fuel terminals:*

1. È possibile maneggiare quantitativi maggiori;
2. Più esperienza nel maneggiare e miscelare SAF;
3. Presenza di infrastrutture attrezzate, mentre quelle degli aeroporti rimangono immodificate;
4. Più aeroporti possono essere riforniti dagli stessi fuel terminals.

Sembra perciò più conveniente la miscelazione in punti di disaccoppiamento che si differenziano dagli aeroporti, alcune limitazioni sopraggiungono in futuro con la necessità di ampliare le infrastrutture che non risultano adeguate alle quantità di SAF previste nel 2050. La seconda e più grande limitazione è quella del tracciamento: essendo possibile rifornire più aeroporti, bisogna tenere bene traccia delle quantità trasferite in ognuno per motivi di trasparenza e regolazione.

Se invece si miscelasse negli aeroporti, i vantaggi si riscontrerebbero in minori costi di trasporto e minori emissioni derivanti ma sono compensati da più grandi svantaggi come il bisogno di certificazioni di varia natura, possibilità di minori capacità di stoccaggio e la più grande: la completa duplicazione dell'infrastruttura necessaria al miscelamento e maneggiamento dei SAF, con il conseguente dispendio economico.

Per poter considerare valori crescenti e maggiori di SAF nel mondo è sicuramente necessario, in primo luogo, intervenire nell'infrastruttura e nel suo miglioramento e questo può avvenire in

diversi modi. Il primo e ovvio è attraverso il miglioramento delle partnership con i diversi stakeholder coinvolti in modo tale da velocizzare il processo di acquisizione iniziale di capacità e conoscenze. Tali attori sono per esempio la dogana, operatori aeroportuali, compagnie aeree, fornitori di carburanti e di SAF e così via.

Il secondo step necessario è quello di accelerazione nell'acquisizione: in questa fase si devono considerare diversi e maggiori investimenti o anche crediti energetici sostenibili per aeromobili o voucher venduti a clienti aziendali e/o passeggeri in modo tale da ridurre il premio di prezzo.

L'ultima prevede l'incremento delle quantità in gioco, il cosiddetto periodo di *scale-up*. Questo risulta necessario per l'aumento delle percentuali di SAF necessarie e previste in futuro. In questo caso non sono più sufficienti incentivi economici o miglioramento di relazioni con i partner, ma si vedono necessarie misure più importanti come politiche, meccanismi finanziari e sostegni del governo. È importante capire che i soli SAF non sono in grado di decarbonizzare il trasporto aereo, ma sono necessari fattori politici complementari a sostegno, che permettano di velocizzare e raggiungere gli obiettivi prefissati dai vari enti.

Una delle prime domande che si devono porre i decisori è **su chi** far valere le norme regolatorie di percentuali e volumi. La commissione europea al momento sta considerando tre opzioni: fornitori di carburanti, compagnie aeree o una combinazione delle due. La scelta più sensata attualmente sembra la prima: l'industria della fornitura di carburante ha il grande pregio di essere verticalmente integrata e altamente concentrata, motivazioni che rendono il controllo e il monitoraggio estremamente semplificati (World Economic Forum, 2021). Più onerosa sarebbe la scelta delle compagnie aeree, che renderebbe possibile governare solo voli intra-europei.

Alcune delle opzioni politiche che si considerano per generare l'avanzamento dei SAF nel mercato sono (ICCT, 2021):

1. Mandati riguardanti l'energia, i volumi e la miscelazione: si fissano degli obiettivi di tempi e quantità di SAF
2. La scelta di un fattore moltiplicativo per l'incremento di utilizzo dei biofuel;
3. Obiettivi di intensità dei GHG: regolazione dei volumi di emissioni;
4. Supporto finanziario diretto, attraverso sussidi e altri strumenti governativi.

In Europa è stata approvata nel 2018 la revisione della direttiva RED, RED II, che considera diverse policies, tra cui quella riguardante **valori di energia e volumi vincolanti** per i produttori di combustibili:

SAF	2025	2%
	2030	5%
	2040	32%
	2050	63%

TABELLA 10 –DIRETTIVA RED, VALORI PERCENTUALI NEGLI ANNI DI SAF RICHIESTI AI FUEL SUPPLIERS. FONTE: ELABORAZIONE PROPRIA DELLA DIRETTIVA

La direttiva distingue due tipi di combustibili sostenibili, gli advanced biofuel (dal legno e dalle microalghe) e i synthetic aviation fuels (e-kerosene, generato da processi power-to-liquids), le cui percentuali richieste nei vari anni risultano le seguenti:

Advanced biofuel	2022	0,2%
	2025	1%
	2030	3,50%
Synthetic Aviation Fuel	2030	0,70%
	2040	8%
	2050	28%

TABELLA 11 –DIRETTIVA RED, VALORI PERCENTUALI NEGLI ANNI DI ADVANCED BIOFUEL E SYNTHETIC AVIATION FUEL RICHIESTI AI FUEL SUPPLIERS. FONTE: ELABORAZIONE DELLA DIRETTIVA

Alcuni dei nodi focali importanti di questa metodologia sono le penalità in caso di non soddisfacimento delle quantità o anche, se non vengono specificati come nel RED II le varie percentuali per differenti biofuel, l'utilizzo dei carburanti alternativi più economici e senza dispendio monetario per l'avanzamento tecnologico degli altri meno sviluppati e più all'avanguardia. Per questo motivo la direttiva europea RED II specifica le varie quantità richieste, differenziando le due macrocategorie e indicando le percentuali per ognuno. Questo è importante e necessario dato che non tutti i biofuel sono sostenibili allo stesso modo: la riduzione di GHG rispetto al combustibile tradizionale dipende infatti dal metodo di conversione e dalla materia prima utilizzata.

Per esempio, gli advanced biofuel permettono un risparmio di emissioni maggiori rispetto ai biofuel di natura alimentare, ma sono anche i più costosi da realizzare dati gli ingenti investimenti in CapeX iniziali.

La seconda metodologia riguarda la scelta del **fattore moltiplicativo** che incrementi il quantitativo energetico degli advanced biofuel utilizzato nel settore del trasporto aereo e marittimo. Al momento la Commissione Europea sta valutando il valore del moltiplicatore nella direttiva RED II e la sua implementazione nell'aviazione attraverso il RefuelEU Aviation. Il numero che si sente spessissimo per questo moltiplicatore è 1.2: si ipotizza infatti di aumentare l'utilizzo dei combustibili alternativi del 20%, ma come potrebbe accadere anche con la prima metodologia, pure in questo caso sembrerebbe un ottimo modo per sopperire alle emissioni di GHG nel breve termine, dato che le forze si spiegherebbero per l'utilizzo di oli usati e vegetali, portando i biofuel di prima generazione ad essere gli unici sul mercato, poiché al momento i più economicamente sostenibili.

La terza metodologia riguarda obiettivi di intensità dei GHG e la loro riduzione. Questa policy stabilisce una percentuale target di riduzione relativa a un anno considerato "baseline", si calcola la media dell'intensità del carbon fossile di quell'anno e si decide una sua diminuzione percentuale per gli anni futuri (ICCT, 2021).

Secondo questa direttiva i biofuel più gettonati diventano quelli che presentano emissioni inferiori rispetto agli altri, incentivando i fuel suppliers a investirci. Questo approccio può anche essere considerato tecnologicamente neutrale: si potrebbe favorire un mix economico di carburanti sostenibili per raggiungere l'obiettivo di riduzione dei GHG.

Esempi di questa policy sono riscontrabili nel pacchetto "MIX55" dell'EU Fuel Quality Directive (Articolo 7a), nel Low-Carbon Fuel Standard (USA) e nel Germany's Federal Emission Control Act (legge tedesca sul regolamento delle emissioni, entrata in vigore nel 1974).

Di seguito una tabella riassuntiva, con alcune delle policies di riferimento e gli obiettivi prefissati negli anni:

Policy	Anno	Riduzione GHG	Baseline di riferimento	Riduzione relativa al trasporto
Climate and Energy Package	2008	20% entro il 2020	1990	6% nel 2020
European Green Deal	2020	55% entro il 2030	1990	N.D.
		Neutralità nel 2050	1990	90% nel 2050
LCFS (USA)	2011	10% entro il 2020	2010	10%
		20% entro il 2030	2010	20%
BImSchG	Versione 2002	6% entro il 2020	2010	6%

TABELLA 12 –POLICIES DI RIDUZIONE GHG A CONFRONTO. FONTE: ELABORAZIONE DELLE DIRETTIVE

Le due policies europee, Climate and Energy Package e European Green Deal, sono una l'avanzamento dell'altra, considerando anni successivi di implementazione. In ambito europeo le normative stimano una riduzione globale delle emissioni, sulla quale si calcola una stima più o meno precisa della percentuale di riduzione delle emissioni relative ai trasporti. Nel 2030 per la normativa del Green Deal non è stata calcolata la percentuale necessaria dei trasporti, ma si è stimato un 90% per il 2050, in maniera tale da raggiungere la neutralità climatica (emissioni nette pari a 0).

Come implementazione del FQD, EU Fuel Quality Directive e del RED, in Germania è stata approvata nel 2002 la direttiva BlmSchg, che stima una percentuale di riduzione del 6% soprattutto in ambito del trasporto su strada.

Per quanto riguarda le normative LCFS, Low-Carbon fuel standard, la prima è stata istituita nel 2007 in California, per essere poi approvata nel 2011. Simili leggi poi hanno preso piede in tutto il mondo, come nell'aprile del 2008 in UK. In California vengono considerati nel calcolo gli ILUC (Indirect Land Use Change), mentre in UK no.

L'ultimo supporto per i SAF possono essere gli incentivi finanziari diretti. I costi di produzione e le barriere tecnologiche sono sempre stati il più grande rallentamento per l'implementazione degli advanced biofuel e i SAF. Come specificato in precedenza, i SAF avanzati possono costare da 1-2€ al litro, circa tre o cinque volte più del combustibile fossile, a seconda del metodo di conversione e della materia prima utilizzata. Finanziamenti diretti e incentivi mirati possono aiutare a ridurre il divario di costi di produzione, favorendone l'utilizzo.

Alcuni dei finanziamenti governativi possibili includono:

- Sussidi a favore della produzione
- Contributi per spese in conto capitale
- Appalti
- Contratti e prestiti a tasso agevolato

A differenza dei mandati, le sovvenzioni sono a carico diretto del governo piuttosto che di uno degli attori dell'industria e per questo motivo considerate più rischiose dei mandati poiché dipenderebbero dalla spesa pubblica, ridotta o eliminata in periodi di difficoltà economiche statali.

Risulta perciò come soluzione più complicata e meno sicura, se si considera che per lo sviluppo delle tecnologie è necessario un finanziamento per un orizzonte temporale lungo. Se i contributi diretti alla produzione fossero inferiori ai 10 anni, in molti casi non si terrebbe conto del tempo speso per la pianificazione e la costruzione delle strutture necessarie all'implementazione. A dimostrazione di ciò è il caso del credito d'imposta sul biodiesel negli Stati Uniti, a volte è stato revocato retroattivamente e non si era in grado di coprire la produzione avvenuta in precedenza.

In Europa, a causa dell'ammontare necessario per gli investimenti di una singola struttura produttiva di SAF, l'UE sarebbe in grado di sostenere economicamente grazie a sovvenzioni solo un piccolo numero di strutture alla volta. Per questo motivo, quest'ultima metodologia di sviluppo produttivo è efficace per strutture e progetti di conversione su piccola scala, non in grado di attrarre investimenti privati, che attualmente risultano i più gettonati e convenienti.

CONCLUSIONI

La spinta verso i Sustainable Aviation Fuel è sempre più forte. Entità nazionali e internazionali sono a lavoro per definire e rendere sempre più chiaro agli attori coinvolti come procedere in futuro e quali regole seguire in termini di volumi, percentuali o tempistiche.

Il problema principale rimane il **costo** se confrontato con quello dei carburanti tradizionali, utilizzati purtroppo ancora in volumi eccessivi. Uno dei motivi primari è la limitata produzione e l'inefficienza della supply chain, la quale al momento non è in grado di sopperire a richieste di grandi quantitativi. Il tutto deriva dai percorsi di conversione complessi e innovativi.
Le organizzazioni responsabili della limitazione di immissione di CO_2 da parte del trasporto aereo civile spingono verso regolamentazioni ferree, sotto forma di compensazioni (come l'ICAO), o riduzione di emissioni, in termini di volumi o attraverso l'imposizione di una percentuale di miscelazione (i SAF sono carburanti sostenibili drop-in, vengono introdotti direttamente nel serbatoio dopo la miscelazione con i carburanti tradizionali). Per quanto queste normative possano essere d'aiuto nell'aumento dell'impiego dei SAF, rimane il problema della mancanza di supporto della catena logistica di base, non ancora evoluta e inadeguata per la grande produzione.

Gli attori responsabili dell'infrastruttura, produttori di combustibili e aeroporti, non sono dotati di strumenti adatti all'implementazione a breve termine di questi combustibili. Per permettere un avanzamento dei volumi impiegati sono necessari grandi investimenti e un impiego di risorse non indifferenti: la decisione di effettuare questo cambiamento deve e dovrebbe essere supportato da una domanda elevata da parte delle compagnie aeree, e infine dai clienti che decidono di acquistare il servizio. Al momento la domanda è ancora bassa dato il prezzo elevato finale, il quale non permette l'aumento dell'offerta. Si tratta di un circolo vizioso che potrebbe avere fine con il supporto governativo e l'offerta di **incentivi** per poter effettuare questi investimenti, costituiti per la maggior parte da costi affondati.

A rimetterci di più sono forse i **viaggiatori**: i costi ulteriori, sostenuti in primo luogo dai produttori di combustibili, vengono trasferiti alle compagnie aeree, le quali li passano a loro volta ai clienti. Il prezzo del biglietto aereo viene quindi ad aumentare, riducendo per altro la domanda di trasporto aereo. Questo secondo circolo vizioso induce in bancarotta alcune compagnie aeree e porta all'insoddisfazione di tutti gli attori coinvolti.

La seconda risorsa che viene presa in considerazione per la riduzione delle emissioni aeree è l'**idrogeno** o i cosiddetti Renewable Fuels of Non-Biological Origines (RFNBO), in questa sede poco trattati per la scarsità d'impiego nel trasporto aereo. Le tecnologie a supporto non sono ancora avanzate e il loro utilizzo al momento è veramente ridotto; tuttavia, la loro implementazione ridurrebbe le emissioni drasticamente, grazie alla loro generazione anch'essa sostenibile (da fonti rinnovabili, come pale eoliche e pannelli solari). Il grande setback di queste risorse è il costo di realizzazione, notevolmente maggiore rispetto a quello dei SAF. Attualmente questa vantaggiosa risorsa viene utilizzata soprattutto nella movimentazione su strada e per mezzi pesanti, come autocarri e autotreni.

La conclusione ultima è quindi sui costi, riducibili in primis attraverso grandi finanziamenti statali. Gli attori della supply chain, infatti, non sono in grado da soli di investire ingenti somme di denaro per l'implementazione di tecnologie innovative a supporto della realizzazione dei SAF, poiché quasi sicuramente non riuscirebbero a coprire i costi impiegati, data la scarsa domanda.

BIBLIOGRAFIA

Global Carbon Project (2022), Carbon budget and trends 2021. Visualisations of the carbon cycle di Rob Jackson.

IPCC (1996), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1.

IMF (2022), Greenhouse Emissions Rise to Record, Erasing Drop During Pandemic. Autori P. Bhanumati, Mark de Haan, and James William Tebrake.

UNWTO (2022), Impact assessment of the Covid-19 outbreak on International tourism, Tourism recovery gains momentum in Q1 2022, as restrictions ease and confidence returns.

EEA (2021), Motorised transport: train, plane, road or boat — which is greenest?

EEA (2020), EEA Report No 19/2020, ISSN 1977-8449. Transport and environment report 2020, Train or plane? https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2020, https://www.eea.europa.eu//publications/transport-and-environment-report-2021

ICAO, Appendix-S1 2022. Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO_2 emission reduction, Appendix S1, Climate Science Context.

IATA (2022), 20 Year passenger forecast. https://www.iata.org/pax-forecast/#tab-3

ISPRA (2020), Emission Trading europeo, https://www.isprambiente.gov.it/it/servizi/registro-italiano-emission-trading/contesto/emission-trading-europeo.

Consiglio Europeo (2014). Osservazioni di Herman Van Rompuy, presidente del Consiglio europeo, a seguito del Consiglio europeo del 24 ottobre 2014

Consiglio Europeo, Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici. https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/

European commission (2021), RefuelEU Aviation. ReFuelEU Aviation initiative: Summary of the Commission proposal and the Parliament's draft committee report

European commission (2021), RefuelEU Aviation. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf

ISPRA (2021), Italian greenhouse gas inventory report 1990-2019 – National inventory report 2021, https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/nir2021_italy_14apr_completo.pdf

Environmental sustainability of biofuels (2020), Harish K Jeswani, Andrew Chilvers, Adisa Azapagic. 476(2243):20200351. doi: 10.1098/rspa.2020.0351

Transport environment (2020). RED II and Advanced Biofuels, Recommendations about Annex IX of the Renewable Energy Directive and its implementation at national level

Sahoo e altri (2020), Sahoo, S., and D. K. Srivastava, 2021: Effect of compression ratio on engine knock, performance, 38 combustion and emission characteristics of a bi-fuel CNG engine. Energy, 233, 121144, 39 https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121144.

European commission (2021), RefuelEU Aviation. Annex 8 – Criteria for policy choice on SAF

ICAO, LTAG Report Appendixes R3 (2022). Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO_2 emission reduction. Appendix R3, Climate Science Context

Chiaramonti, D. (2019). Sustainable Aviation Fuels: the challenge of decarbonization. *Energy Procedia*, Volume 158,Pages 1202-1207.

IPCC AR6 WGIII (2021). Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change. WORKING GROUP III CONTRIBUTION, TO THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)

ISPRA, CORSIA, Compensazione e riduzione delle emissioni dell'aviazione internazionale. URL: https://www.isprambiente.gov.it/it/servizi/registro-italiano-emission-trading/le-novita-del-registro/corsia

ICAO, CORSIA. Annex 16 (2018). Environmental Protection, Volume IV. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA).

European Commission (2021). COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, IMPACT ASSESSMENT REPORT. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, amending Directive 2003/87/EC as regards aviation's contribution to the Union's, economy-wide emission reduction target and appropriately implementing a global market-based measure

Transport and Environment (Agosto, 2020). Emission Trading System – Aviation. T&E's feedback on the Inception Impact Assessment. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/T&E's%20feedback%20on%20the%20ETS%20IIA%202020%20(1).pdf

Transport and Environment (Settembre, 2020). Global and EU climate schemes compared And how will Covid impact aviation mitigation measures. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2020_09_Briefing_TE_Corsia_ETS_cost_TAKS_2020_final.pdf

EUROCONTROL (2021). Data Snapshot #11 on regulation and focused logistics unlocking the availability of sustainable aviation fuels (SAF). https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-data-snapshot-11-saf-airports

Guiyan Zang e altri (2021). Performance and cost analysis of liquid fuel production from H2 and CO2 based on the Fischer-Tropsch process. Autori: Guiyan Zang, Pingping Sun , Amgad A. Elgowainy , Adarsh Bafana , Michael Wang. Elsevier, Journal of CO2 Utilization 46 (2021) 101459.

Mina Daneshmandi e altri (2022). The incorporated environmental policies and regulations into bioenergy supply chain management: A literature review. Autori: Mina Daneshmandi, Hadi Sahebi, Jalal Ashayeri. Elsevier, Science of the Total Environment 820 (2022) 153202.

IRENA, 2019. Advanced biofuels what holds them back? https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Advanced-biofuels_2019.pdf

United Nations, Climate Change. https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf.

ACI (2021), Integration of Sustainable Aviation Fuels into the air transport system. https://www.ati.org.uk/wp-content/uploads/2022/06/saf-integration.pdf

Singh e altri. (2021). Singh, A., Christensen, T., Panoutsou, C., 2021. Policy review for biomass value chains in the European bioeconomy. Glob. Transit. 3, 13–42.

Gov.uk, 2022. https://www.gov.uk/government/publications/contracts-for-difference-cfd-allocation-round-4-results

Ryanair (2022). Ryanair Partners With Neste Holland To Power Flights With 40% SAF Blend. URL: https://corporate.ryanair.com/news/ryanair-partners-with-neste-holland-to-power-flights-with-40-saf-blend/

The white House (2021). FACT SHEET: Biden Administration Advances the Future of Sustainable Fuels in American Aviation. URL: https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation/

Eurocontrol (2019). Fuel Tankering: economic benefits and environmental impacts https://www.eurocontrol.int/publication/fuel-tankering-european-skies-economic-benefits-and-environmental-impact

IRENA, 2019. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019, s.l.: IRENA.

Giannis Giannelos e altri (2021), Study supporting the impact assessment of the ReFuelEU Aviation initiative. Final report. Autori: Giannis Giannelos, Alexandra Humphris-Bach, Alec Davies, Ben Baxter (Ricardo), Martin Cames, Peter Kasten (Oeko), Pelopidas Siskos, Ioannis Tsiropoulos, Thomas Kalokyris, Stergios Statharas

Climate and Health (2022), https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm#:~:text=The%20health%20effects%20of%20these,and%20threats%20to%20mental%20health.

ICAO, Appendix M3, Technology (2022), Appendix-M3 2022. Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO_2 emission reduction, Appendix M3

ICAO, Appendix R1, Summary Sheets (2022). Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO_2 emission reduction, Appendix R1.

ICCT WORKING PAPER, 2021-13. Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand. Autori: Jane O'Malley, Nikita Pavlenko, Stephanie Searle.

Pavlenko, N., Searle, S., & Christensen, A. (2019). The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative_jet_fuels_cost_EU_2020_06_v3.pdf.

Eurocontrol, "Does taxing aviation really reduce emissions?", Oct. 2020, last retrieved: Oct. 20, 2021, available at:

https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-10/eurocontrol-think-paper-taxing-aviation-oct-2020.pdf

L'economia. Leonard Berberi, 2022
https://www.corriere.it/economia/aziende/22_luglio_22/aerei-beffa-supplemento-carburante-fino-all-80percento-costo-finale-cosi-volare-diventa-piu-caro-bbe9091c-08ca-11ed-ba42-106d8f7128de.shtml

IATA, Air Travel Demand (IATA Economics Briefing No9, "measuring the responsiveness of air travel demand to changes in prices and incomes", April 2008). Estimated price elasticities of passenger demand

ICCT (2021), An Assessment of the policy options for driving sustainable aviation fuels in the EU. Nikita Pavlenko, Dan Rutherford of the ICCT, Laura Buffet and Andrew Murphy of Transport & Environment

World Economic Forum (2021), Guidelines for a Sustainable Aviation Fuel Blending Mandate in Europe. In Collaboration with the Energy Transitions Commission.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_CST_EU_Policy_2021.pdf

SITOGRAFIA

Https://www.globalcarbonproject.org/

https://www.unwto.org/

https://www.iata.org/

https://www.isprambiente.gov.it/it

https://www.consilium.europa.eu/it/

www.elsevier.com/locate/jcou