

La decarbonizzazione dei trasporti: è un obiettivo possibile? a cura di R. Danielis

La decarbonizzazione dei trasporti: è un obiettivo possibile?

a cura di
Romeo Danielis



Impaginazione
Gabriella Clabot

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2019

Proprietà letteraria riservata.
I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento totale e parziale di questa
pubblicazione, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm,
le fotocopie e altro) sono riservati per tutti i paesi.

ISBN 978-88-5511-107-2 (online)

EUT Edizioni Università di Trieste
via Weiss 21 - 34128 Trieste
<http://eut.units.it>
<https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste>

La decarbonizzazione dei trasporti: è un obiettivo possibile?

a cura di
Romeo Danielis

Indice

- ROMEO DANIELIS
- VII Introduzione
- ROMEO DANIELIS
- 1 La decarbonizzazione dei trasporti: è un obiettivo possibile?
- LUCIA ROTARIS
- 73 Cambiamenti climatici e trasporto aereo: dimensioni del problema e soluzioni proposte
- TULLIO GREGORI, MARIANGELA SCORRANO
- 103 The impact of trade, urbanization and biomass energy consumption on CO₂ emissions: results from a panel of emerging and frontier countries
- SAIFUL HASAN, THOR-ERIK SANDBERG HANSEN, TERJE ANDREAS MATHISEN
- 121 A review of the academic literature on Electric Vehicles in the social sciences
- MARCO GIAN SOLDATI, ADRIANA MONTE, MARIANGELA SCORRANO, ANDREA PARMA
- 139 Indagine sulle barriere all'acquisto delle auto elettriche. Evidenze su un campione di rispondenti italiani
- MARIANGELA SCORRANO
- 171 Esiste un mercato per gli scooter elettrici in Italia? Evidenze da un'indagine sulle preferenze dichiarate nella città di Trieste
- ADRIANA MONTE, MARCO GIAN SOLDATI
- 197 Evidenze sulle abitudini modali e sulla sostenibilità dei trasporti in ambito accademico. Il caso dell'Università di Trieste
- MARIANGELA SCORRANO, ALESSANDRO MASSI PAVAN
- 221 Microgrids as drivers in the global energy transition towards renewables
- 231 Abstracts
- 241 Authors

Cambiamenti climatici e trasporto aereo: dimensioni del problema e soluzioni proposte

LUCIA ROTARIS

1. INTRODUZIONE

Si stima che il riscaldamento del pianeta sia aumentato di un grado dal 1800 e che potrà superare la soglia limite di +1,5 gradi entro il 2030 se non verranno approntati efficaci interventi di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e di cattura e stoccaggio dei gas presenti in atmosfera. I settori maggiormente responsabili per la produzione di CO₂ sono la produzione di energia ed il riscaldamento degli edifici (25%), la riduzione delle aree boschive (18%), l'agricoltura e l'allevamento (13%) ed il trasporto (13%). Nonostante il contributo del trasporto aereo sia ancora modesto, in particolare rispetto al trasporto stradale, i tassi di crescita delle emissioni prodotte dalla modalità aerea sono in costante aumento e le previsioni sulla loro futura evoluzione sono allarmanti. Si prevede, infatti, che il consumo di carburanti del settore aereo nel 2040 sarà il quadruplo dei valori registrati nel 2010.

Le ragioni di una crescita così marcata sono molte: l'aumento del reddito pro capite, l'intensificazione della globalizzazione, lo sviluppo dei mercati emergenti e l'evoluzione delle scelte di consumo dei loro abitanti, le offerte commerciali particolarmente convenienti delle compagnie aeree "low cost", solo per citarne alcune.

Vero è anche che l'opinione pubblica inizia a percepire la gravità del problema, come testimoniato non solo dalla maggiore copertura che i media riservano alle notizie relative ai fenomeni meteorologici estremi causati dal cambiamento climatico, ma anche dalla nascita di movimenti votati al boicottaggio del trasporto aereo ed alla promozione di scelte di consumo più responsabili ed ambientalmente sostenibili¹.

La teoria economica individua nei costi sociali del trasporto, definiti esternalità negative, l'origine del problema. Si tratta dei costi causati da chi produce e/o consuma il servizio, ma non si fa carico dei costi ambientali ad esso associati. Il prezzo pagato da chi acquista il servizio di trasporto, infatti, non include il costo dell'impatto ambientale prodotto. Il segnale di prezzo è, quindi, distorto e porta ad una quantità di servizi venduti sul mercato superiore a quella che si verificherebbe se anche i costi ambientali fossero inclusi nel prezzo del biglietto aereo. Il cambiamento climatico si distingue, per altro, dalle altre forme di esternalità negativa (inquinamento atmosferico, inquinamento acustico, incidenti, ...) perché non produce i suoi effetti a livello locale, in prossimità del luogo in cui le emissioni di gas ad effetto serra vengono prodotte, ma a livello globale, richiedendo per tale ragione interventi più complessi perché, per essere efficaci, devono essere condivisi a livello internazionale.

L'obiettivo del presente lavoro è illustrare l'andamento del settore del trasporto aereo e delle emissioni di gas ad effetto serra da esso prodotte (Sezione 2), descrivere gli strumenti a disposizione del decisore pubblico per gestire il problema (Sezione 3) e riassumere le strategie adottate per ridurre le emissioni generate dal settore (Sezione 4).

2. IL TRASPORTO AEREO: TENDENZE DEL MERCATO ED EMISSIONI DI GAS AD EFFETTO SERRA

Nonostante la temporanea volatilità della domanda registrata in occasione della crisi economico finanziaria del 2008, il trasporto aereo è in rapida e pressoché costante espansione ed i tassi di crescita sono impressionanti (Figura 1). Nel 2016, il traffico globale è aumentato del 6,3% rispetto al 2015, con un numero di passeggeri annuali che supera i 3,7 miliardi. In UE, nel 2017, hanno viaggiato in aereo 1043 milioni di persone, con un aumento del 7,3% rispetto al 2016. Il principale aeroporto di Londra, Heathrow, ha registrato il maggior numero di passeggeri aerei (78 milioni), seguito dall'aeroporto di Parigi Charles de Gaulle (69 milioni).

¹ <https://noflyclimatesci.org>

Figura 1 – Previsioni di crescita del numero di viaggi effettuati utilizzando la modalità aerea in milioni (www.iata.org/pax-forecast)

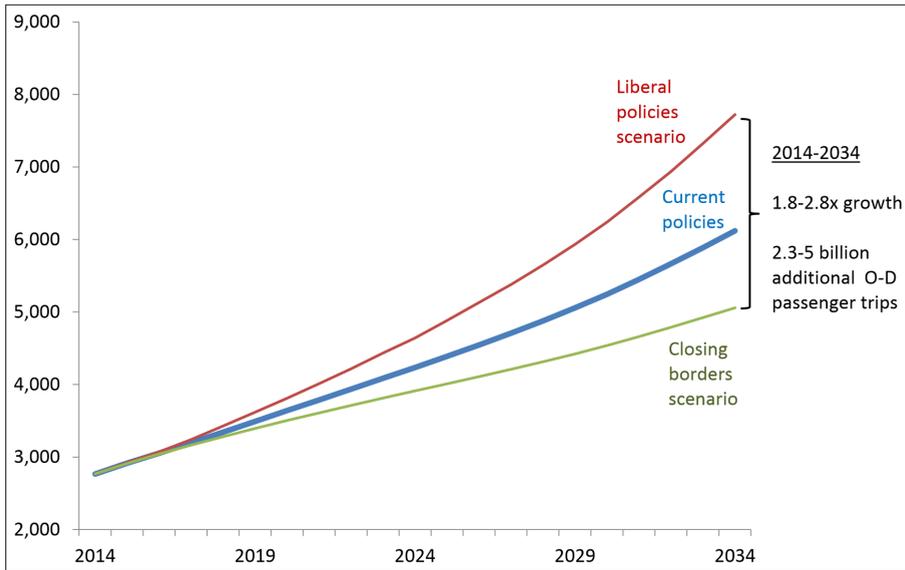
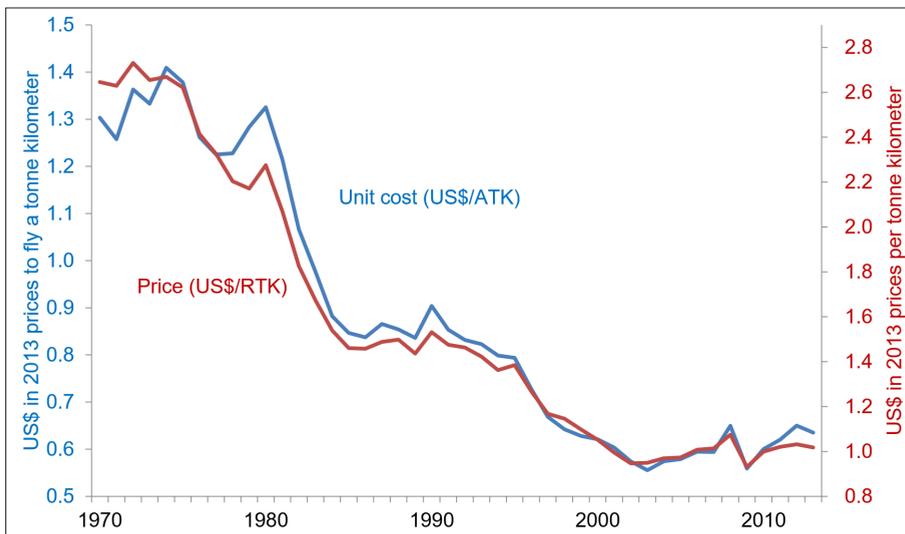


Figura 2 – Andamento del prezzo del trasporto aereo nel tempo (www.iata.org/pax-forecast)



Nel lungo termine il fenomeno non dovrebbe esaurirsi, si prevede, infatti, che i chilometri passeggeri annuali di qui al 2035 aumenteranno ad un tasso medio compreso fra il 4,5% ed il 4,8%. Saranno i mercati asiatici, mediorientali, latinoamericani ed africani a registrare i tassi di crescita più alti. Nei mercati più maturi, invece, si prevedono valori leggermente più contenuti: fra il 2,9% ed il 3,1% per il Nord America ed attorno al 3,7% per l'Europa (European Commission, 2017).

Secondo le analisi condotte dall'International Air Transport Association (IATA, www.iata.org/pax-forecast) il fattore determinante della crescita della domanda di trasporto aereo è ascrivibile al miglioramento degli standard di vita nei paesi emergenti ed al relativo aumento del reddito pro-capite. Secondo l'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, come illustrato in Figura 2, sono più che dimezzati dagli anni '70 ad oggi.

È soprattutto il turismo a trainare la domanda di trasporto aereo, come attestato dalle stime della United Nations World Tourism Organization (UNWTO) secondo cui nel 2017 il 57% del turismo internazionale ha utilizzato la modalità aerea (http://people.unica.it/carlamassidda/files/2017/06/UNWTO_Tourism-Highlights_2017.pdf).

Il settore aeronautico è cambiato anche grazie ai notevoli progressi tecnologici che, con lo sviluppo di aeromobili bimotore più efficienti come gli Airbus A350 ed i Boeing B787, hanno permesso il moltiplicarsi dei voli point-to-point e l'ampliamento delle connessioni offerte agli utenti.

Sono emersi, inoltre, nuovi modelli di business "low cost" (ad esempio Ryanair e EasyJet) basati sull'uso di scali secondari che hanno rivoluzionato la geografia degli scali espandendo l'area del mercato servito. Le compagnie che utilizzano questo modello organizzativo hanno ormai conquistato il 20% del mercato mondiale. Il successo delle compagnie "low cost" è comunque ascrivibile anche ai consistenti sussidi offerti dagli amministratori delle località turistiche minori che hanno visto nel trasporto aereo l'opportunità di un rapido sviluppo.

Nel 2015 i profitti ottenuti dalle compagnie aeree a livello globale hanno raggiunto valori record, con margini operativi nell'ordine dell'8,8% e ben 18 compagnie aeree che hanno registrato profitti operativi superiori al miliardo di dollari. I vettori che hanno registrato le performance migliori sono quelli statunitensi che, anche grazie ad operazioni di consolidamento, hanno portato le tre principali compagnie americane (American Airlines, Delta Air Lines e United) ad ottenere i valori maggiori in termini di ricavi, margine operativo e numero di passeggeri. Anche in Europa i margini operativi delle compagnie aeree sono aumentati, per quanto in maniera meno marcata rispetto al contesto statunitense,

principalmente a causa della bassa crescita economica del continente che non ha stimolato in modo altrettanto vivace la domanda. Le tre principali compagnie aeree europee per redditività sono state la Lufthansa, Ryanair e IAG.

La crescita esponenziale del trasporto aereo è stata accompagnata da un notevole aumento delle emissioni di gas inquinanti e dell'impatto ambientale da essi generati. I principali inquinanti emessi dai motori degli aerei sono l'anidride carbonica, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, gli idrocarburi incombusti, il monossido di carbonio ed il particolato (PM)². Le stime dei valori delle emissioni prodotte e dei rispettivi trend di crescita variano a seconda del contesto geografico considerato, dell'orizzonte temporale studiato e dell'ente di ricerca che ha effettuato le stime.

Secondo le stime pubblicate dall'Air Transport Action Group (associazione non a scopo di lucro che comprende 50 membri fa cui i principali produttori di velivoli – Boeing, Airbus, Bombardier -, nonché le più importanti associazioni di compagnie aeree e di aeroporti), nel 2018 il settore del trasporto aereo ha prodotto 895 milioni di tonnellate di CO₂ su un totale di emissioni generate da attività antropiche pari a 42 miliardi³. Nel 2016, il trasporto aereo ha prodotto il 3,6% delle emissioni totali di gas a effetto serra nell'Unione Europea a 28 paesi ed il 13,4% delle emissioni dell'intero settore dei trasporti, essendo la seconda fonte di emissioni più importante dopo il trasporto stradale⁴. Nel 2015 le emissioni del trasporto aereo prodotte in Europa erano pari al 20% delle emissioni prodotte dal trasporto aereo a livello globale. Nel 2018 Ryanair è risultata fra i primi 10 produttori di emissioni in Europa, in 4 paesi europei le compagnie aeree sono state il maggior produttore di emissioni di CO₂ ed in altri 12 paesi europei compaiono fra i primi 10 produttori⁵.

L'aspetto più preoccupante è che mentre le emissioni generate da settori produttivi diversi dal trasporto stanno diminuendo, quelle prodotte dal trasporto aereo stanno crescendo e lo stanno facendo a tassi molto elevati. Considerando, ad esempio, tutti i voli in partenza dagli aeroporti dell'Unione Europea a 28 paesi, tra il 1990 e il 2016 le emissioni di CO₂ sono aumentate da 88 a 171 milioni di tonnellate (+ 95%)⁶. L'incremento delle emissioni di CO₂ nel 2017 rispetto al

² Il cambiamento climatico causato dai gas ad effetto serra non è l'unica esternalità negativa generata dal trasporto aereo, ad esso si aggiungono l'inquinamento atmosferico e l'inquinamento acustico, che però non tratteremo nel presente lavoro.

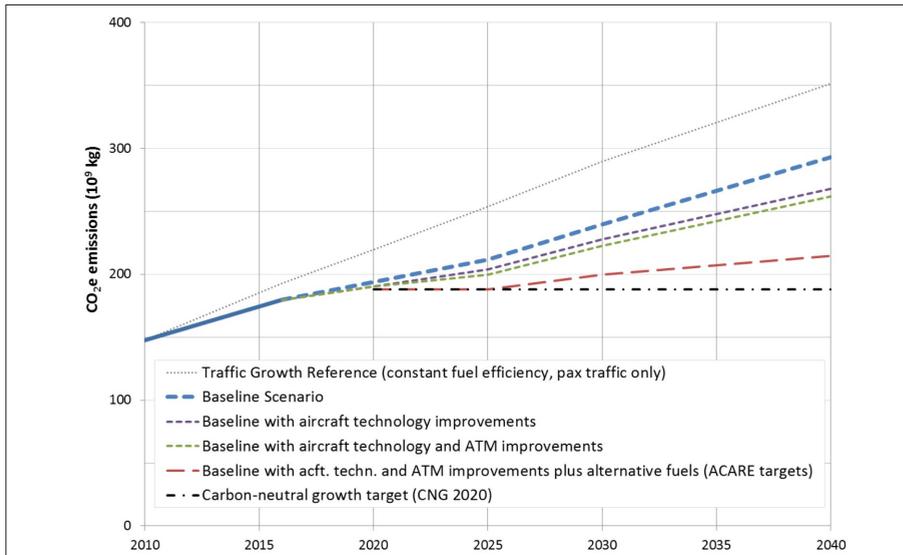
³ <https://www.atag.org/facts-figures.html>

⁴ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

⁵ www.transportenvironment.org/news/airlines-are-biggest-carbon-emitters-four-european-countries

⁶ https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf

Figura 3 – Emissioni di CO₂ da trasporto aereo (solo passeggeri): trend ed analisi di scenario



<https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2018-Dic/Action%20Plan%202018.pdf>

2005 è stato stimato nell'ordine del 16% ed addirittura del 10% rispetto al recente 2014. Nello stesso periodo, comunque, il consumo medio di carburante per chilometro passeggeri è diminuito del 24%, con un tasso di riduzione medio annuo del 2,8% tra il 2014 e il 2017. Nonostante l'efficienza della tecnologia avionica sia notevolmente aumentata, le emissioni hanno continuato a crescere principalmente a causa dell'aumento del numero di voli, delle dimensioni degli aerei e delle distanze percorse.

EUROCONTROL, organizzazione pan-europea che include operatori aerei civili e militari dedicata al sostegno dell'aviazione europea, ed EASA (European Union Aviation Safety Agency), l'agenzia europea per la sicurezza del trasporto aereo⁷, hanno stimato il traffico, il consumo di carburante e la produzione di emissioni di CO₂ del trasporto aereo originato dagli aeroporti facenti parte dell'ECAC (European Civil Aviation Conference), la più grande organizzazione aeronautica civile europea che comprende 44 paesi membri⁸. Come illustrato in Figura 3, ipotizzando che la tecnologia utilizzata non vari rispetto a quella impie-

⁷ <https://www.easa.europa.eu>

⁸ <https://www.ecac-ceac.org/>

gata nell'anno base, il 2010, e che non si intervenga con politiche di tassazione o regolamentazione del settore, le emissioni prodotte nel 2040 sarebbero più del doppio rispetto a quelle prodotte nel 2010.

Le analisi di scenario effettuate da EUROCONTROL ed EASA prevedono incrementi nettamente inferiori rispetto allo scenario base (linea tratteggiata grigia in Figura 3) che tiene conto dei miglioramenti tecnologici intervenuti fino al 2017, se si ipotizzano significativi miglioramenti della tecnologia avionica (linea tratteggiata viola in Figura 3), ottimizzazione della gestione del traffico aereo (ATM, Air Traffic Management, linea tratteggiata verde in Figura 3) e l'utilizzo di biocarburanti (linea tratteggiata rossa in Figura 3). L'ultimo scenario (linea tratteggiata nera in Figura 3) è quello auspicato dall'ICAO, l'International Civil Aviation Organization, che prevede la neutralizzazione totale degli incrementi di emissioni rispetto ai valori registrati nel 2020⁹.

3. I COSTI SOCIALI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO E LE SOLUZIONI PROPOSTE DALLA TEORIA ECONOMICA

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha recentemente stimato che le emissioni di CO₂ e degli altri gas ad effetto serra di origine antropica abbiano causato un aumento del riscaldamento globale di 1 °C rispetto ai livelli preindustriali e che il riscaldamento globale aumenterà di 1,5 °C tra il 2030 e il 2052 se le emissioni continueranno ad aumentare al ritmo attuale. Come conseguenza all'aumento delle temperature, sia terrestri sia oceaniche, si registrano: ondate di calore più frequenti nella maggior parte delle regioni terrestri, un aumento della frequenza e della durata delle onde di calore marine, un aumento della frequenza, intensità e/o quantità di precipitazioni di eccezionale intensità su scala globale, nonché un aumentato del rischio di siccità nell'area del Mediterraneo. L'IPCC prevede, inoltre, che le variazioni di temperatura diventeranno sempre più ampie con una crescente diffusione del raggiungimento di temperature eccezionalmente alte durante la stagione estiva alle medie latitudini e durante la stagione invernale alle alte latitudini. Le zone più colpite da questi fenomeni saranno la parte centrale ed orientale del Nord America, l'Europa centrale e meridionale, l'area circostante il Mediterraneo (compresi l'Europa meridionale, l'Africa settentrionale e il Medio Oriente), l'Asia occidentale e centrale e l'Africa meridionale. Le aree che registreranno i maggiori aumenti degli eventi di precipitazione di intensità estrema sono le regioni ad alta latitudine (ad esempio Ala-

⁹ Per i dettagli degli scenari ipotizzati si rimanda a <https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2018-Dic/Action%20Plan%202018.pdf>

ska, Canada, Groenlandia, Islanda, Europa settentrionale e Asia settentrionale), le regioni montuose (ad esempio, l'altopiano tibetano), e l'Asia orientale (compresi Cina e Giappone e il Nord America orientale). I cicloni tropicali diminuiranno in frequenza ma la loro intensità aumenterà notevolmente.

Dal punto di vista economico l'impatto maggiore dei cambiamenti in corso si registra e si registrerà ulteriormente nel settore energetico, in quello alimentare ed in quello idrico, con effetti che potranno sovrapporsi nello spazio e nel tempo, esponendo un numero crescente di persone e regioni, in particolare i piccoli stati insulari e le popolazioni economicamente svantaggiate, al rischio di mancanza di energia, cibo ed acqua. L'oceano ha assorbito circa il 30% dell'anidride carbonica antropogenica, con conseguente acidificazione delle acque ed aumento del rischio di sopravvivenza, crescita e sviluppo di numerose specie di esseri viventi marini, nonché di settori come l'acquacoltura e la pesca. Il settore turistico, in particolare quello stagionale balneare e sciistico, sono già stati notevolmente colpiti dagli effetti negativi del cambiamento climatico. I rischi per il turismo costiero, in particolare nelle regioni subtropicali e tropicali, aumenteranno con l'aumento della temperatura (a causa, ad esempio, di ondate estreme di calore e tempeste), l'erosione delle spiagge ed il ridursi della barriera corallina. Più in generale, la crescita economica sarà negativamente influenzata dal riscaldamento globale soprattutto nelle regioni a basso e medio reddito (continente africano, sud-est asiatico, India, Brasile e Messico).

Anche la salute umana è e sarà sempre di più influenzata dal riscaldamento globale, con un aumento della morbilità e della mortalità legate al calore in particolare nelle aree urbane, che spesso amplificano gli impatti negativi sulla salute delle ondate di calore. Si prevede, inoltre, l'aumento di alcune malattie veicolate dalle punture degli insetti come la malaria e la febbre dengue. Si prevedendo, infine, crescenti fenomeni migratori originati dalle comunità maggiormente dipendenti dall'agricoltura e più esposte ai rischi di impoverimento generati dai cambiamenti climatici in corso¹⁰.

La quantificazione monetaria dei costi sociali generati dai gas ad effetto serra è particolarmente complessa essendo influenzata da numerosi fattori fra cui: il fatto che l'effetto serra è legato alla concentrazione dei gas in atmosfera e non direttamente alle emissioni ed il fatto che tanto la variazione della temperatura e dei relativi fenomeni meteorologici, quanto gli impatti sull'ecosistema e sul sistema economico differiscono a seconda dell'area geografica e dell'orizzonte temporale considerati. Le stime variano, inoltre, in funzione della metrica utilizzata per misurare la variazione della ricchezza causata dal riscaldamento globa-

¹⁰ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf

le, degli obiettivi e della struttura del modello utilizzato per stimare gli impatti fisici del riscaldamento globale, del valore dei parametri impiegati nel modello, e delle ipotesi formulate per sviluppare le analisi di scenario (Nordhaus, 2007). Il risultato dell'enorme varietà dei metodi, dei modelli e dei parametri impiegati per ottenere la stima del costo sociale delle emissioni di CO₂ è rappresentato dall'impressionante ampiezza dei valori pubblicati in letteratura che, come recentemente riportato da Nocera et al. (2015), variano da \$-10 a \$7.244 a tonnellata di CO₂. Fra le stime più accreditate merita citare la relazione Stern che, nel 2006, indicava come la gestione del riscaldamento globale sarebbe costata circa l'1 % del PIL mondiale l'anno, mentre il costo dell'inazione sarebbe stato pari almeno la 5 % del PIL, fino ad arrivare al 20 % del PIL globale nello scenario peggiore fra quelli ipotizzabili¹¹.

La letteratura economica propone tre tipologie di strumenti per mitigare il problema delle emissioni di inquinanti atmosferici (Baldwin et al., 2001; Pearman et al., 2003; Stavins, 1997). Il primo attiene alla sfera istituzionale e prevede la diffusione e la divulgazione delle informazioni relative, da un lato, alla quantità di emissioni prodotte dalle attività di produzione o di consumo di beni e servizi, e, dall'altro, all'impatto causato dal riscaldamento globale sull'ecosistema, sulla salute dell'uomo, sul sistema economico e sui fenomeni migratori al fine di indurre comportamenti di produzione e consumo più sostenibili (Whitmarsh et al., 2011; Ockwell et al., 2009; Tews et al., 2003). Da questo punto di vista, negli ultimi anni, le campagne divulgative sui temi inerenti il cambiamento climatico sono andate decisamente intensificandosi e la consapevolezza e la sensibilità collettiva per questo fenomeno inizia ad aumentare. Il risultato è da ascrivere non solo alle campagne informative veicolate dai media, dalle associazioni ambientaliste e dallo stesso ministero dell'ambiente, che opera anche attraverso le agenzie regionali per la protezione ambientale, ma anche ad un orientamento maggiormente votato alla sostenibilità ambientale adottato dalle imprese, che sempre più spesso pubblicano (nel bilancio sociale o nelle etichette dei prodotti in vendita) i dati relativi all'impatto ambientale generato dalla produzione e dalla distribuzione dei beni e dei servizi che offrono alla collettività. L'ampia diffusione delle certificazioni ambientali utilizzate nel settore dei generi di consumo alimentari, ma più recentemente anche dei prodotti per la cura della persona e dell'abbigliamento, testimoniano l'efficacia di questo strumento e l'appealing esercitato nei confronti dei consumatori e dei produttori. Il limite maggiore di questo tipo di strumento è che, per quanto possa incidere sul livello di consapevolezza delle ripercussioni ambientali delle scelte di consumo o di produzione effettuate, non garantisce il cambiamento comportamentale desiderato dal decisore pubblico.

¹¹ www.europarl.europa.eu/factsheets/it

Una seconda tipologia di strumenti è basata sulla regolamentazione delle attività di consumo o produzione. In questa categoria rientra la normativa che definisce: la quantità massima di inquinamento che è permesso generare all'atto della produzione o del consumo di un bene; la tipologia di fattori produttivi e/o la tecnologia da impiegare per la produzione di un bene; la localizzazione delle attività produttive e più in generale la destinazione d'uso del territorio. Questi strumenti sono conosciuti in letteratura come "command and control instruments" e presentano alcuni noti limiti, ad esempio non incentivano a migliorare la sostenibilità ambientale dell'attività regolamentata oltre lo standard stabilito, possono essere molto complessi nonché costosi da gestire per il regolatore, tanto per la difficoltà di adeguare tempestivamente i limiti imposti all'evoluzione della tecnologia ed alle mutate condizioni del mercato, quanto per la necessità di approntare efficaci campagne di controllo al fine della verifica del rispetto della normativa vigente, infine, non tengono conto del fatto che i costi di adeguamento alla normativa possono differire notevolmente fra i diversi agenti economici regolamentati ed in questo senso risultano meno efficienti rispetto ad altri tipi di strumenti basati sui "segnali di prezzo" (imposte vs. sussidi). Il maggior vantaggio di questo tipo di strumenti è la rapidità con cui, potenzialmente, possono modificare l'adozione di nuove tecnologie a minor impatto ambientale e la certezza che gli obiettivi di limitazione dell'inquinamento perseguiti vengano raggiunti.

Una terza tipologia di strumenti è veicolata dal mercato, è, infatti, definita in letteratura come "market-based" e comprende i sussidi, le imposte ed i permessi scambiabili (Stavins, 2003). I sussidi vengono erogati al fine di promuovere comportamenti virtuosi che riducono l'inquinamento. Possono riguardare tanto le attività di consumo che quelle inerenti la produzione di beni o servizi, compreso l'acquisto di fattori produttivi tecnologicamente avanzati a minor impatto ambientale. Questa categoria di strumenti è generalmente molto apprezzata dai destinatari, si caratterizza quindi per un'accettabilità politica molto alta, presenta, però, numerosi limiti, primo fra tutti la necessità di disporre di un'adeguata disponibilità finanziaria da parte degli enti erogatori. Comporta, inoltre, problemi di equità, perché prevede il trasferimento di risorse dalla fiscalità generale a gruppi specifici e limitati di individui o imprese, e risulta efficiente solo se il costo opportunità è sufficientemente basso. Le imposte, viceversa, raccolgono gettito dai consumatori o dai produttori che inquinano in modo proporzionale al valore monetario dell'inquinamento prodotto. Questo strumento presenta il notevole vantaggio di generare un doppio beneficio: riduce l'inquinamento e genera risorse che possono essere utilizzate per neutralizzare le distorsioni del mercato causate da altre imposte (Goulder, 1995; Parry & Bento, 1999; Parry, 1995; Pearce, 1991), non è, però, privo di limiti. Prima di tutto è generalmente poco gradito dall'elettorato e quindi viene difficilmente proposto e sostenuto dal decisore

pubblico. In secondo luogo, per essere efficiente, richiederebbe di variare l'imposta al variare del valore monetario del costo sociale dell'inquinamento prodotto da ogni agente economico, con enormi difficoltà di definizione dell'importo da far pagare e di controllo del pagamento. Nella pratica, infatti, l'imposta è normalmente proporzionale al costo medio (anziché a quello marginale) generato da tutti gli agenti economici. Fra gli altri limiti si citano, inoltre, la potenziale regressività dell'imposta, il potenziale effetto negativo sulla crescita economica, il costo di gestione della riscossione e del controllo dei pagamenti, ma soprattutto il rischio che gli agenti economici si trasferiscano in regioni dove l'imposta non viene applicata. Con i permessi scambiabili, invece, terza tipologia di strumento di tipo "market-based", il regolatore definisce la quantità di inquinamento complessivamente producibile dagli agenti economici e stabilisce una prima ripartizione dei permessi fra gli agenti stessi, lasciando loro la possibilità di scambiarsi i permessi in un libero mercato creato all'uopo previo il pagamento di un prezzo definito dall'interazione fra la domanda e l'offerta. Rispetto allo strumento del sussidio o dell'imposizione fiscale, il sistema dei permessi scambiabili ha il notevole vantaggio di garantire il rispetto del limite massimo di inquinamento producibile nel sistema complessivamente considerato così come definito dal regolatore (Kaplow, 2010). Le criticità legate a questo strumento riguardano, però, la definizione della quantità di permessi e di inquinamento producibile, che deve essere in linea con gli obiettivi di politica ambientale stabiliti, e l'incertezza relativa al prezzo dei permessi (Fankhauser et al, 2010), l'incentivo ad adottare un comportamento virtuoso da parte degli agenti economici ed ad innovare la tecnologia utilizzata, infatti, è strettamente legato al prezzo dei permessi ed alla prevedibilità del valore che il prezzo avrà in futuro. Nel caso in cui il prezzo sia troppo basso o troppo volatile, l'incentivo ad adottare comportamenti virtuosi e ad usare tecnologie innovative a minor impatto ambientale potrebbe risultare inferiore all'obiettivo perseguito dal decisore pubblico. Anche in questo caso, inoltre, i costi di gestione, ma soprattutto di controllo del rispetto della normativa, possono essere ingenti. Un'ulteriore ragione per cui un'imposta sulle emissioni di CO₂ sarebbe preferibile al sistema delle quote e dei permessi scambiabili è legata all'andamento dei benefici e dei costi dell'abbattimento delle emissioni, è stato infatti, dimostrato che in presenza di benefici marginali tendenzialmente lineari e leggermente decrescenti e di costi marginali non lineari fortemente crescenti, come nel caso in esame, lo strumento fiscale è più efficiente (McKibbin & Wilcoxon, 2002; Pizer, 2002 e 1997).

Il controllo e la regolamentazione delle emissioni di CO₂ e dei gas ad effetto serra presentano, però, delle peculiarità rispetto alle altre forme di inquinamento atmosferico perché, a differenza degli altri inquinanti, i gas serra producono effetti che si estendono a livello globale, anziché locale, richiedendo perciò

l'accordo e la cooperazione di più nazioni, possibilmente quelle maggiormente inquinanti, affinché un qualunque programma di riduzione delle emissioni risulti efficace. Purtroppo, l'incentivo a raggiungere accordi di tipo cooperativo è intrinsecamente molto basso, poiché i costi di abbattimento delle emissioni generano benefici solo in parte goduti dal paese e dalla generazione che ne sopporta l'onere. L'impasse è riconducibile al fenomeno noto in teoria dei giochi come "dilemma del prigioniero" per cui, nonostante l'esito della cooperazione sia per tutti preferibile all'esito in assenza di cooperazione, la possibilità che i partner "devino" dall'accordo, lasciando l'onere dell'impegno preso a chi intenda rispettarlo ed i maggiori benefici netti in capo a chi non rispetta l'accordo, porta alla mancata stipula dell'accordo tout court. In assenza di un'ampia, se non totale, cooperazione internazionale, del resto, l'azione del singolo paese è da un lato poco utile, anche per il fenomeno della migrazione delle attività produttive che generano emissioni nei paesi non aderenti, fenomeno noto come "carbon leakage" (Kuik & Mulder, 2004) e dall'altro difficilmente accettabile da parte dell'elettorato¹². Inoltre, quand'anche raggiunto, l'incentivo a rispettare l'eventuale accordo sarebbe minimo, perché non esiste, ed è difficilmente immaginabile che esista, un ente o un'agenzia sovranazionale investita di poteri sanzionatori nei confronti dei paesi che non rispettano gli impegni presi. Un ulteriore elemento che complica il raggiungimento di un accordo internazionale sulla riduzione delle emissioni è dovuto al fatto che i paesi che sono destinati a sopportare gli impatti maggiori del riscaldamento globale e che quindi sono maggiormente interessati a che la cooperazione venga posta in essere, sono anche i paesi più poveri che hanno, perciò, minor potere persuasivo nel dibattito internazionale.

4. SOLUZIONI ADOTTATE PER RIDURRE LE EMISSIONI DI CO₂

Nessuno degli strumenti proposti in letteratura per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra è privo di criticità o di elementi che ne rendono complessa l'applicazione. Le soluzioni adottate dal decisore pubblico di cui si darà conto in questa Sezione rispecchiano il quadro delineato e spiegano almeno in parte il perché dei risultati poco soddisfacenti finora registrati.

I primi tentativi di cooperazione internazionale nella risoluzione del problema delle emissioni di CO₂ risalgono al 1988 con la Conferenza di Toronto in cui i

¹² Engel *et al.* (2005) dimostrano, però, da un lato come talvolta i paesi intraprendano azioni unilaterali anche in presenza di esternalità positive che beneficino paesi terzi, come nel caso dei paesi aderenti all'accordo di Parigi per quanto attiene alla riduzione di emissioni di CO₂, e dall'altro come siano proprio tali azioni unilaterali a facilitare il successivo raggiungimento di accordi collaborativi allargati.

partecipanti concordarono sulla necessità di ridurre le emissioni del 20% entro il 2005 rispetto ai valori registrati nel 1988. Si optò quindi per uno strumento di tipo “command-and-control” piuttosto che per un potenzialmente più efficiente “market-based” e da allora l’approccio è rimasto ancorato alla determinazione delle riduzioni delle quantità di emissioni, anziché all’introduzione di un’imposta sulle emissioni. Nella Conferenza sull’Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development) tenutasi a Rio de Janeiro del 1992, i 150 paesi partecipanti decisero di sottoscrivere una convenzione quadro sui cambiamenti climatici che prevedeva, fra le altre iniziative, l’istituzione degli inventari nazionali delle emissioni e degli assorbimenti dei gas ad effetto serra di cui, in Italia, è responsabile l’ISPRA. Nella conferenza di Berlino del 1995 si raggiunse un accordo sulla necessità di ridurre le emissioni al di sotto dei livelli del 1990, senza specificare però la soglia di riduzione.

È solo con la Conferenza di Kyoto, tenutasi nel 1997, ed il relativo protocollo¹³ che si stabilì l’entità della riduzione delle emissioni da raggiungere entro il 2012 rispetto ai valori del 1990. In particolare, per tutti i paesi membri dell’Unione Europea, il Protocollo di Kyoto stabilì una riduzione dell’8% delle emissioni di gas da effetto serra rispetto ai valori registrati nel 1990. L’Unione Europea definì, quindi, sulla base della conoscenza della struttura industriale, del mix energetico utilizzato e delle aspettative di crescita economica di ogni paese, le riduzioni che ciascun paese membro avrebbe dovuto rispettare. All’Italia venne assegnato un obbligo di riduzione di emissioni di gas serra pari al 6,5%. In Italia il Protocollo di Kyoto venne ratificato con la legge 120 del 2002¹⁴. L’accordo raggiunto nella Conferenza di Kyoto stabiliva, inoltre, l’istituzione di un sistema di permessi di emissione scambiabili, con la possibilità di utilizzare i permessi assegnati anche successivamente al 2012 e di acquisire crediti di emissione finanziando progetti di riduzione delle emissioni in paesi terzi, non necessariamente aderenti al protocollo. Il secondo periodo di adempimento del protocollo di Kyoto è iniziato nel 2013 e si concluderà nel 2020, durante questo periodo i paesi firmatari si sono impegnati a ridurre le emissioni almeno del 18% rispetto ai livelli del 1990¹⁵. L’UE si è data un obiettivo ancor più ambizioso e pari al 20%. Le critiche mos-

¹³ Per entrare in vigore il protocollo doveva essere ratificato da almeno 55 paesi che complessivamente producessero il 55% delle emissioni. Il protocollo perciò entrò in vigore solo il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica della Russia. Gli Stati Uniti, invece, responsabili all’epoca del 36% delle emissioni, decisero di non aderire. Il Canada si è ritirato prima del 2012, ultimo anno del primo periodo di adempimento. Per approfondire <http://www.meteoweb.eu/2015/12/da-kyoto-a-parigi-cosa-e-cambiato-in-diciotto-anni-di-cop/598732/#oqg7fkXbmpA7AX9W.99>

¹⁴ <http://www.isprambiente.gov.it>

¹⁵ Russia, Giappone e Nuova Zelanda non hanno preso parte al secondo periodo. Questo significa che l’accordo di Kyoto si applica attualmente solo a circa il 14% delle emissioni mondiali.

se anche in letteratura al protocollo di Kyoto, però, sono numerose (Aldy et al., 2003), fra le più rilevanti si menziona il fatto che i paesi in via di sviluppo siano stati coinvolti solo in modo molto marginale.

Nel dicembre 2015, dopo oltre due decenni di negoziati, i governi hanno adottato il primo accordo universale per contrastare i cambiamenti climatici, in occasione della 21a conferenza delle parti (COP 21) della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) tenutasi a Parigi che ha stabilito l'obiettivo di mantenere l'aumento della temperatura al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali. 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. L'accordo si basa sul principio delle responsabilità comuni ma differenziate in funzione delle rispettive capacità di contrasto al cambiamento climatico. Ogni cinque anni tutti i paesi devono rinnovare e aggiornare i propri piani d'azione e comunicarli in modo trasparente così da consentire il monitoraggio dei progressi raggiunti non solo a livello nazionale, ma anche a livello globale. L'accordo di Parigi è entrato in vigore nel 2016. Tutti i paesi dell'UE hanno ratificato l'accordo e l'Unione Europea sta già adottando misure per raggiungere il suo obiettivo di ridurre le emissioni almeno del 40% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030, di migliorare l'efficienza energetica del 27% e di aumentare la quota di consumo finale di energia proveniente da fonti rinnovabili del 27%¹⁶. In realtà, l'accordo ha fissato il limite di emissioni fino al 2030, ma a quasi cinque anni dalla sua ratifica il trend complessivo non è particolarmente incoraggiante: le emissioni globali nel 2015 e 2016 sono rimaste costanti, mentre nel 2017 e 2018 sono tornate a crescere. Inoltre USA, Australia e Brasile si sono ritirati dall'accordo a dimostrazione della già citata intrinseca instabilità degli accordi internazionali nella risoluzione di problemi inerenti beni pubblici transnazionali e transgenerazionali.

4.1 *Emissions Trading System (EU ETS)*

Sulla scorta di quanto previsto dal protocollo di Kyoto, l'Unione Europea nel 2005 ha dato vita all'Emissions Trading System (ETS) che opera secondo il principio della limitazione delle emissioni producibili e dello scambio dei permessi di emissione, "cap-and-trade". Il sistema stabilisce un tetto (cap), che si riduce

¹⁶ Gli obiettivi stabiliti per il 2030 fanno seguito a quelli stabiliti nel 2007 dai leader dell'UE per il 2020 noti come "20 - 20 - 20": una riduzione del 20 % delle emissioni di gas a effetto serra, un aumento del 20 % della quota di energie rinnovabili nel consumo finale di energia e una riduzione del 20 % del consumo totale di energia primaria dell'UE rispetto ai livelli del 1990.

nel tempo, alla quantità totale di alcuni gas da effetto serra che possono essere emessi dagli impianti regolamentati. Il sistema opera in 31 paesi: i 28 Stati membri dell'UE, l'Islanda, il Liechtenstein e la Norvegia. Copre attualmente la metà delle emissioni di CO₂ dell'UE, comprendendo quelle provenienti da circa 12.000 impianti, fra centrali elettriche e impianti industriali, oltre a circa 500 operatori aerei commerciali e non commerciali che volano tra gli aeroporti nello Spazio Economico Europeo (SEE). Entro il limite stabilito, le imprese ricevono o acquistano permessi di emissione e, se necessario, possono scambiarli sul mercato. Il valore delle quote scambiate è tanto maggiore quanto più stringente è il limite stabilito. Le imprese possono anche acquistare quantità limitate di crediti di emissione internazionali da progetti di riduzione delle emissioni realizzati in altri parti mondo. Alla fine di ogni anno le imprese devono restituire un numero di permessi pari alle emissioni prodotte, pena il pagamento di ammende pecuniarie. Se un'impresa riduce le proprie emissioni, può mantenere i permessi inutilizzati per coprire il fabbisogno futuro, oppure può venderli ad un'altra impresa che ne non ne abbia a sufficienza. Secondo le previsioni dell'UE nel 2020 le emissioni dei settori regolamentati saranno inferiori del 21% rispetto al 2005, mentre nel 2030 saranno inferiori del 43%. Per quanto attiene alle emissioni di CO₂ i settori interessati sono la produzione di energia elettrica e di calore, i settori industriali ad alta intensità energetica, comprese raffinerie di petrolio, acciaierie e produzione di ferro, metalli, alluminio, cemento, calce, vetro, ceramica, pasta di legno, carta, cartone, acidi e prodotti chimici organici su larga scala, e l'aviazione civile. In alcuni settori sono inclusi soltanto gli impianti al di sopra di una certa dimensione, alcuni impianti di dimensioni ridotte possono essere esclusi qualora le amministrazioni mettano in atto misure fiscali o di altro genere che ne riducano le emissioni di un quantitativo equivalente. L'ETS è attualmente nella sua terza fase di funzionamento (2013-20) e, rispetto alle due fasi precedenti, si caratterizza per le seguenti differenze: il limite di emissioni non è più differenziato per nazione ma è unico per tutti i paesi aderenti; i permessi vengono assegnati mediante asta anziché gratuitamente; il numero di settori interessati e di gas regolamentati è maggiore; si è istituito un "fondo" di 300 milioni di quote accantonate per i nuovi entranti ed un fondo per finanziare la diffusione di tecnologie innovative, la produzione di energia da fonti rinnovabili e la cattura e l'immagazzinamento della CO₂.

Nel settore dell'aviazione e fino al 31 dicembre 2023 il sistema ETS UE si applica unicamente ai voli tra aeroporti situati nello Spazio Economico Europeo (SEE). Il trasporto aereo è stato incluso nell'ETS nel 2008. Da allora le emissioni del trasporto aereo che si svolge all'intero dello SEE sono soggette agli obiettivi dell'UE di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra del 20% e del 40% entro, rispettivamente, il 2020 e il 2030 e fanno, quindi, parte del contributo

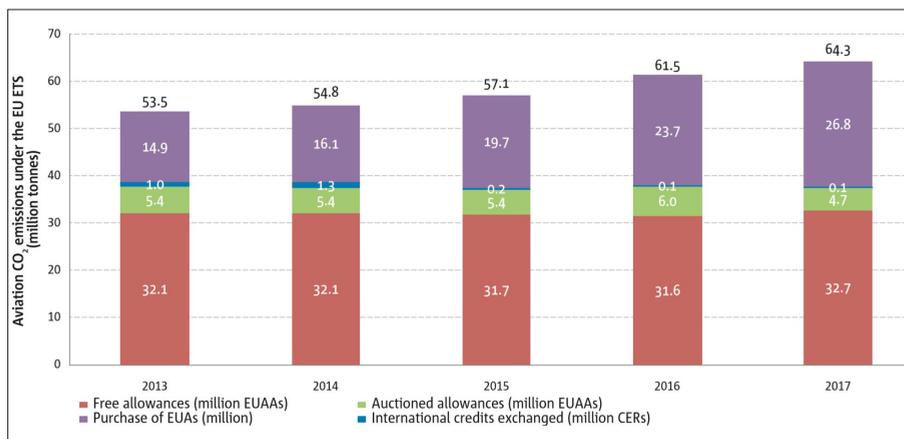
dell'UE al raggiungimento degli obiettivi dell'accordo di Parigi. Il limite iniziale per l'aviazione nell'ETS era basato sulle emissioni storiche medie del trasporto aereo tra il 2004 e il 2006, pari a 221,4 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno per tutti i paesi partecipanti. Il limite per le attività di trasporto aereo fissato per l'attuale fase dell'ETS (2013-2020) è stato fissato pari al 95% delle emissioni storiche registrate nel 2004-2006. Nel 2017, 677 compagnie aeree, tra cui oltre 200 vettori non europei, hanno operato nell'ambito dell'ETS. Dal 2013, l'ammontare annuale delle unità di emissione destinate dall'ETS al trasporto aereo è stato di circa 37,5 milioni di tonnellate di CO₂. Circa il 15% di queste unità di emissione è stato messo all'asta, mentre l'85% è stato assegnato gratuitamente. Per le emissioni di CO₂ che superano il massimale stabilito dall'ETS per l'aviazione, gli operatori aerei devono acquistare unità di emissione nell'apposito mercato istituito dall'UE per gli altri settori produttivi ad impianti fissi che emettono gas ad effetto serra. L'acquisto di unità di emissione da parte del settore dell'aviazione è passato da 14,9 milioni di tonnellate nel 2013 a 26,8 milioni di tonnellate nel 2017 (European Commission, 2017).

I prezzi delle unità di emissione del carbonio sono cresciuti da €4 a €6 per tonnellata di CO₂ nel periodo 2013-2017. Di conseguenza, i costi totali delle compagnie aeree relativi all'acquisto di unità di emissioni sono passati da circa 89 milioni di euro nel 2013 a 189 milioni di euro nel 2017. Per il 2017, si stima che tali costi abbiano rappresentato circa lo 0,3% dei costi operativi totali dei voli che rientrano nell'ambito di applicazione dell'ETS. A partire da settembre 2018 il prezzo delle unità di emissione è salito oltre i €20¹⁷ e nel primo semestre del 2019 si è assestato attorno ai €24, si prevede, perciò, che l'impatto sui costi operativi del settore avionico sarà maggiore. La riduzione stimata di emissioni di CO₂ nel settore del trasporto aereo grazie all'ETS nel periodo 2013-2020 è di 193,4 milioni di tonnellate.

Nella quarta fase di funzionamento dell'ETS (2021-2030) in ottemperanza agli obiettivi di riduzione delle emissioni dell'UE per il 2030, in linea con il quadro delle politiche per il clima e l'energia per il 2030 e come parte del contributo dell'UE all'accordo di Parigi del 2015, si prevede di: aumentare il ritmo delle riduzioni annuali delle quote al 2,2% a partire dal 2021 e di rafforzare la riserva stabilizzatrice del mercato (il meccanismo istituito dall'UE nel 2015 per ridurre l'eccedenza di quote di emissioni nel mercato del carbonio e migliorare la resilienza dell'ETS dell'UE agli shock futuri); proseguire con l'assegnazione gratuita di quote a garanzia della competitività internazionale dei settori industriali esposti al rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, garantendo al

¹⁷ <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction/european-emission-allowances-auction-download>

Figura 4 – Emissioni di CO₂ nel settore aereo nell’ambito dell’ETS nel periodo 2013-2017 (1 unità di emissione – EUAA o EUA – equivale a 1 tonnellata di CO₂) European Commission, 2017



tempo stesso che le regole per determinare l’assegnazione gratuita siano mirate e riflettano il progresso tecnologico; aiutare l’industria e il settore energetico a rispondere alle sfide dell’innovazione e degli investimenti richiesti dalla transizione verso un’economia a basse emissioni di carbonio attraverso vari meccanismi di finanziamento¹⁸. Il fattore di riduzione lineare del 2,2% all’anno verrà applicato anche al trasporto aereo. Le riduzioni delle emissioni dovranno essere esclusivamente nazionali.

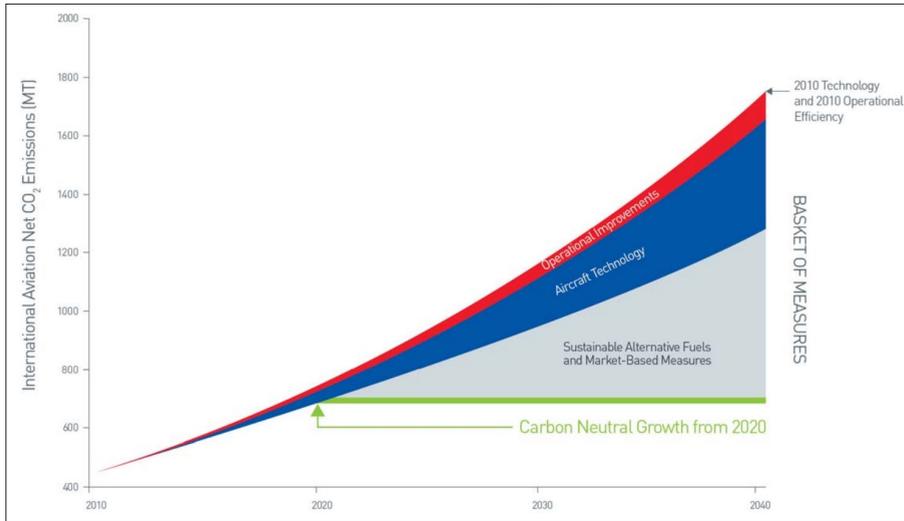
4.2 Carbon Offsetting Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)

Nell’Ottobre del 2013, l’International Civil Aviation Organisation (ICAO) ha approvato la “Risoluzione A39-3” con cui incentiva l’adozione di tecnologia avionica avanzata a minor impatto ambientale e pratiche operative più efficienti che riducano il consumo energetico e l’emissione di CO₂. La risoluzione stabilisce anche di utilizzare a partire dal 2020 un sistema di acquisto e scambio di crediti di compensazione per le emissioni generate dal trasporto aereo internazionale che si svolge al di fuori dello Spazio Economico Europeo e che non sono coperte dall’ETS.

¹⁸ https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_it

Figura 5 – Misure stabilite dall'ICAO per ridurre le emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto aereo

https://www.icao.int/Meetings/RS2017/Documents/CORSIA_Seminar_1.%20Introduction_ver04.pdf



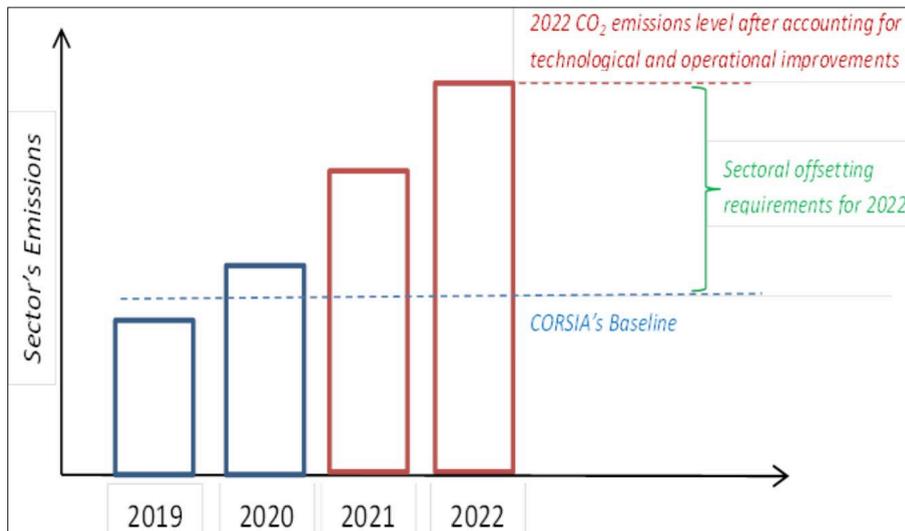
La risoluzione, che coinvolge 193 nazioni, definisce i criteri del Carbon Offsetting Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) che ha lo scopo di contribuire, congiuntamente ad altre misure fra cui lo sviluppo tecnologico, l'uso di biocarburanti¹⁹ e l'ottimizzazione delle rotte, al raggiungimento dell'obiettivo della crescita zero delle emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto aereo internazionale a partire dal 2020 (Carbon Neutral Growth 2020) e di ridurre le emissioni ad un livello pari alla metà delle emissioni prodotte nel 2005 entro il 2050.

CORSIA si basa sulla compravendita di crediti compensativi. I crediti compensativi certificano la quantità di riduzione di CO₂ realizzata attraverso progetti di varia natura tra cui: la costruzione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, la riforestazione o la destinazione ad uso boschivo di territori viceversa impiegati per attività produttive o residenziali (ad es. REDD+, Reduce Emissions from Deforestation and forest Degradation²⁰), la

¹⁹ I biocarburanti che sono già utilizzati su alcuni voli commerciali, hanno il potenziale di ridurre le emissioni fino all'80% (<https://www.iata.org/policy/environment/Documents/paper-offsetting-for-aviation.pdf>).

²⁰ La deforestazione e il degrado delle foreste sono la seconda causa principale del riscaldamento globale e sono responsabili di circa il 15% delle emissioni globali di gas serra. A differenza delle attività di rimboschimento, che generalmente garantiscono piccoli cambiamenti

Figura 6 – Livello base di riferimento delle emissioni di gas serra stabilito da CORSIA
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_FAQs_Update_9Aug18.pdf



gestione dei rifiuti. Più nello specifico ogni credito compensativo rappresenta la certificazione che una tonnellata di CO₂ è stata ridotta o è stata evitata grazie al progetto realizzato e che il progetto non sarebbe stato realizzato senza la compravendita dei relativi crediti compensativi. Per garantire la coerenza dei progetti finanziati con gli obiettivi di CORSIA ed evitare l'eventuale doppio conteggio²¹, solo i progetti certificati dall'ICAO che rispettano i criteri di conformità stabiliti dallo stesso potranno essere considerati utili ai fini dell'emissione e della compravendita dei crediti compensativi. CORSIA si basa sul confronto delle emissioni totali di CO₂ per l'anno in esame rispetto al livello base fissato dall'ICAO pari alla media delle emissioni di CO₂ del trasporto aereo internazionale per gli anni 2019 e 2020. Eventuali emissioni di CO₂ eccedenti il livello base andranno compensate con l'acquisto di una pari quantità di crediti compensativi.

annuali negli stock di carbonio per lunghi periodi di tempo, la deforestazione provoca grandi cambiamenti negli stock di carbonio in un breve periodo di tempo. La maggior parte delle emissioni provocate dalla deforestazione avviene rapidamente, mentre la rimozione del carbonio dall'atmosfera attraverso attività di rimboscimento è un processo molto più lento.

²¹ Che potrebbe verificarsi se i crediti venissero attribuiti anche a progetti che sarebbero stati comunque realizzati.

Figura 7 – Fasi di implementazione di CORSIA

https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_FAQs_Update_9Aug18.pdf

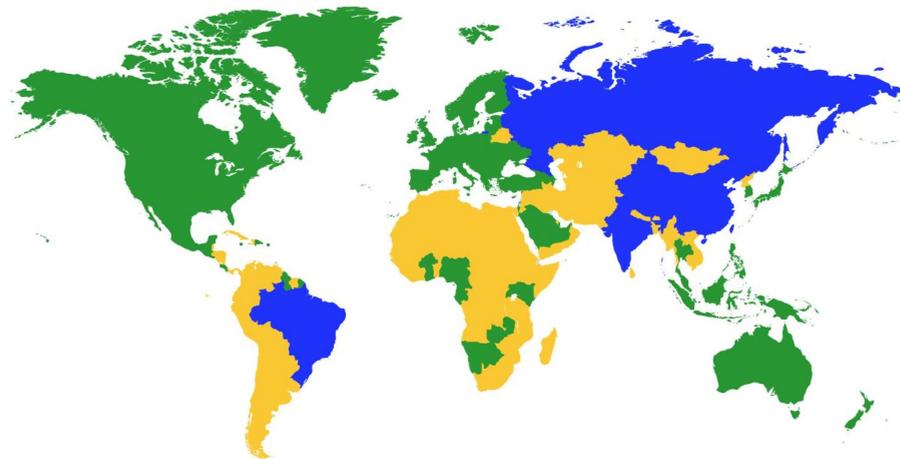


In ottemperanza a quanto stabilito da CORSIA, dal 1 gennaio 2019, tutte le compagnie aeree con voli internazionali che producono emissioni annue di CO₂ superiori a 10.000 tonnellate, sono tenute a monitorare, verificare e comunicare le emissioni di CO₂ prodotte durante il 2019 ed il 2020²². Le emissioni medie annue di CO₂ riportate durante tale periodo rappresenteranno il livello base che, secondo CORSIA, a partire dal 2021 non potrà essere superato dalle compagnie aeree se non previo l'acquisto di crediti compensativi.

Dal 2021 in poi ogni volo internazionale rientrante nell'ambito di applicazione di CORSIA sarà attribuito ad un operatore aereo e ogni operatore aereo sarà attribuito a uno Stato che dovrà presentare il piano di monitoraggio delle emissioni all'ICAO. Gli operatori aerei controlleranno, verificheranno e comunicheranno il loro consumo di carburante allo Stato di assegnazione che ne verificherà i requisiti annuali di compensazione e trasferirà le informazioni ricevute all'ICAO. Le compagnie aeree dovranno rispettare i limiti di emissione definiti da CORSIA nell'arco di un periodo di 3 anni acquistando crediti compensativi e cancellando le unità di emissione che superano tali limiti. I dettagli relativi alla cancellazione delle unità di emissione saranno verificati da un'agenzia indipendente prima di essere trasmessi dalla compagnia aerea allo Stato di assegnazione. Gli operatori aerei potranno ridurre i loro requisiti di compensazione anche utilizzando i biocarburanti che soddisfano i criteri di sostenibilità definiti da CORSIA.

²² Le operazioni umanitarie, mediche e antincendio sono esentate.

Figura 8 – Nazioni che da Maggio 2019 partecipano alla fase pilota (verde), esonerate (gialle) e che dovranno aderire entro il 2027 (blu)
<https://www.iata.org/policy/environment/Documents/corsia-factsheet.pdf>



L'applicazione di CORSIA si articolerà in tre fasi: una fase pilota (2021-2023) ed una prima fase (2024-2026) con partecipazione su base volontaria e una seconda fase (2027-2035) con partecipazione obbligatoria. La differenza fra la fase pilota e la prima fase riguarda la definizione dell'anno rispetto al quale calcolare la quantità di emissioni da compensare. Nella fase pilota è possibile scegliere fra l'anno in corso oppure l'anno 2020; nella prima fase, invece, il livello base è dato dalla media delle emissioni del 2019 e del 2020 e la quantità da compensare è da calcolarsi rispetto all'anno in corso.

Sono esonerati dalla partecipazione a CORSIA le nazioni la cui quota di tonnellate-km nel 2018 era inferiore allo 0,5% o che non figurano nell'elenco ordinato decrescente delle nazioni che comprendono il 90% del totale delle tonnellate-km. Sono inoltre esclusi a prescindere dalla quota di tonnellate-km le nazioni che rientrano nella categoria dei paesi meno sviluppati, comprese le isole, e le nazioni in via di sviluppo senza sbocco sul mare, che possono comunque aderire su base volontaria.

A maggio 2019 erano 80 gli stati volontariamente aderenti a CORSIA e responsabili di poco meno dell'80% del trasporto aereo internazionale. L'ICAO prevede che grazie a CORSIA l'aviazione internazionale ridurrà le emissioni di CO₂ mediamente di 165 milioni di tonnellate l'anno. Le emissioni annuali che verranno ridotte attraverso il meccanismo della compensazione aumenteranno da circa 19 milioni di tonnellate nel 2021 a 335 milioni di tonnellate entro il 2035. L'ICAO prevede anche che tra il 2021 ed il 2035 CORSIA ridurrà circa 2,5

miliardi di tonnellate di CO₂ e genererà oltre 40 miliardi di dollari utilizzabili per finanziare progetti di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra²³.

L'ICAO ha preferito adottare un sistema basato sulla riduzione certificata delle emissioni piuttosto che sull'istituzione di un'imposta sulla CO₂ prodotta ritenendolo più direttamente collegato all'obiettivo della quantità da ridurre dei gas ad effetto serra²⁴. Il sistema di compensazione è stato ritenuto una soluzione più efficiente rispetto ad una "carbon tax" poiché permette che le riduzioni delle emissioni che non possono essere realizzate in modo economicamente sostenibile nel settore dell'aviazione possano essere compensate con le riduzioni effettuate in altri settori in cui sono più rapidamente ed economicamente realizzabili. In linea teorica ai fini della mitigazione del problema del riscaldamento climatico il meccanismo della compensazione intersettoriale è equivalente a quello della riduzione delle emissioni intrasettoriale, poiché ciò che conta è la riduzione della quantità di emissioni prodotte indipendentemente dal settore in cui esse vengono realizzate. I tassi di crescita del settore avionico potrebbero, però, mettere in evidenza i limiti di questa scelta.

4.3 *Il mercato volontario dei crediti compensativi*

I crediti compensativi possono essere scambiati nei mercati volontari, dove gli acquirenti e i venditori agiscono su base volontaria, o in ottemperanza alla normativa vigente che permette agli emittenti di compensare (in parte) le proprie emissioni con l'acquisto di una pari quantità di crediti compensativi. La maggioranza dei progetti finanziati attraverso il mercato volontario segue regole e procedure stabilite da standard volontari sulla riduzione del carbonio. Esistono numerosi standard che vengono utilizzati per certificare l'emissione di crediti compensativi (i più importanti sono quelli certificati da Verra, Gold Standard, Plan Vivo, Climate Action Reserve e American Carbon Registry) ma sono tutti accomunati da 4 criteri fondamentali: il progetto deve effettivamente ridurre le emissioni di CO₂ (real); la riduzione non sarebbe avvenuta se il progetto non fosse stato realizzato (additional); la quantità di riduzione di emissioni può essere accuratamente misurata (measurable); la riduzione di emissioni è stata verificata da un ente certificatore terzo (verifiable).

I progetti che danno origine ai crediti compensativi possono riguardare otto macro settori: agricoltura, industria, efficientamento energetico, gestione e protezione delle aree boschive, efficientamento utensili domestici nei paesi in via

²³ <https://www.iata.org/policy/environment/Pages/corsia.aspx>

²⁴ <https://www.iata.org/policy/environment/Documents/corsia-factsheet-carbon-pricing.pdf>

Tabella 1 – Numero di progetti e quantità di emissioni compensate per macro settore

Project Categories	Projects with Issued Offsets	Volume of Offsets Issued in MtCO _{2e} (2005 - Present) ⁴
Agriculture – modifying agricultural practices to reduce emissions by switching to no-till farming, reducing chemical fertilizer use, etc.	87	6.7
Chemical Processes and Industrial Manufacturing – modifying industrial processes to emit fewer greenhouse gases.	72	63.5
Energy Efficiency and Fuel Switching – improving energy efficiency or switching to cleaner fuel sources.	633	127.9
Forestry and Land Use – managing forests, soil, grasslands, and other land types to avoid releasing carbon and/or increasing the amount of carbon the land absorbs.	170	95.3
Household Devices – distributing cleaner-burning stoves or water purification devices to reduce or eliminate the need to burn wood (or other inefficient types of energy).	161	23.4
Renewable Energy – installing solar, wind, and other forms of renewable energy production.	611	61.9
Transportation – increasing access to public and/or alternative transportation (like bicycling) and reducing emissions from private transportation like cars and trucks.	43	1.1
Waste Disposal – reducing methane emissions from landfills or wastewater, often by collecting converting it to usable fuel.	238	57.5

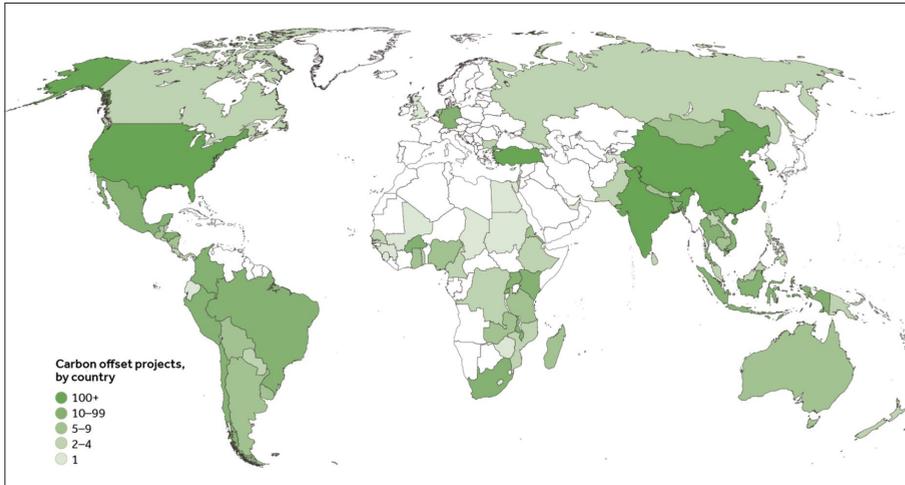
Fonte: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf

di sviluppo, produzione di energia da fonti rinnovabili, trasporti e gestione dei rifiuti. Come illustrato nella Tabella 1 i settori che hanno originato la maggior quantità di crediti compensativi sono l'efficientamento energetico e la gestione e protezione delle aree boschive.

Se un progetto soddisfa i criteri definiti dallo standard, verranno emessi tanti crediti compensativi quante sono le corrispondenti riduzioni di emissioni di carbonio. Ad ogni credito compensativo verrà assegnato un numero seriale che verrà annotato in un apposito registro in cui verranno tracciate tutte le transazioni relative al credito, compresa la sua cancellazione quando verrà utilizzato per compensare un'emissione di CO₂ di pari entità. Gli sviluppatori del progetto possono quindi negoziare queste compensazioni direttamente con gli acquirenti finali, che possono rivendicare le riduzioni delle emissioni come proprie ritirando e cancellando i relativi crediti, oppure possono venderli a mediatori o broker, che a loro volta rivenderanno i crediti agli acquirenti finali previo il pagamento

Figura 9 – Localizzazione dei progetti realizzati dal 2008 al 2018

https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf



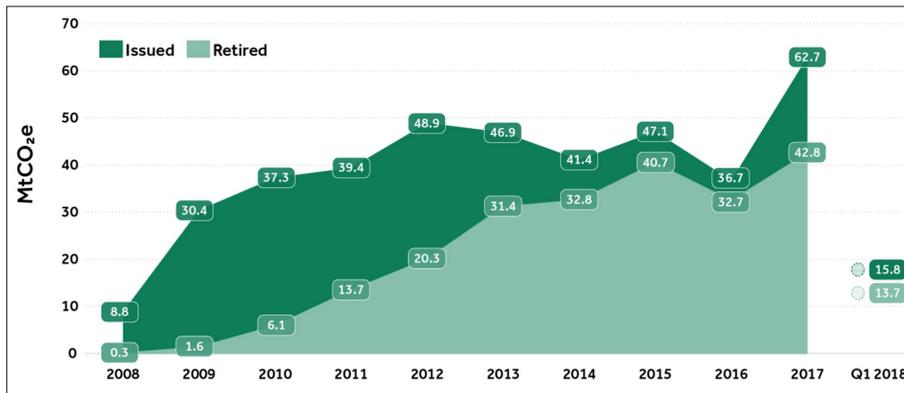
di una commissione di intermediazione. Nonostante un credito compensativo possa essere emesso e possa essere cancellato una sola volta, esso può essere acquistato e rivenduto numerose volte prima della sua cancellazione. Più numerosi sono i passaggi ed i relativi costi di transazione, meno efficiente risulta il meccanismo di mercato.

La maggior parte dei progetti finanziati attraverso la compravendita dei crediti compensativi sono stati realizzati in Asia (51%) ed in Nord America (18%) come illustrato nella Figura 9.

La quantità di emissioni ridotte, sequestrate o evitate dal 2005 al 2017 è stato pari a 437 milioni di tonnellate, di cui ben 63 milioni solo nell'ultimo anno del periodo considerato.

Il numero di crediti compensativi emessi e di crediti compensativi cancellati sono utili indicatori dell'offerta e della domanda nel mercato volontario, poiché i crediti emessi (area verde scuro in Figura 10) rappresentano la quantità di compensazioni disponibili per la vendita ed i crediti cancellati (area verde chiaro in Figura 10) rappresentano i crediti che sono stati acquistati ed utilizzati per compensare le emissioni di CO₂ prodotte dall'acquirente e che non possono più essere rivendute. I crediti emessi in genere superano i crediti cancellati, in parte perché storicamente l'offerta supera la domanda, ma anche a causa del fatto che l'offerta tende ad anticipare la domanda essendo necessari anni prima che un progetto produca dei crediti compensativi che possano essere venduti sul mer-

Figura 10 – Offerta (verde scuro) e domanda (verde chiaro) di crediti compensativi
https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf



cato. Nel 2017 l’offerta è stata pari a 63 milioni di tonnellate di CO₂, mentre la domanda ha raggiunto i 43 milioni di tonnellate di CO₂.

Il prezzo per tonnellata di CO₂ nel mercato volontario varia sensibilmente da progetto a progetto, è tendenzialmente inferiore al prezzo registrato nei mercati dei premessi scambiabili non volontari e nel primo trimestre del 2018 si è aggirato attorno ai \$ 3-6. La variabilità del prezzo dipende dalle caratteristiche del progetto realizzato, che può essere più o meno costoso in funzione del luogo in cui è realizzato, del tipo di attività finanziata, dell’entità e tipologia di benefici ancillari alla riduzione delle emissioni di CO₂ e della quantità di crediti scambiati poiché all’aumentare della quantità di emissioni ridotte da un progetto il prezzo di compravendita per tonnellata tende a diminuire.

La maggior parte dei crediti compensativi venduti nel mercato volontario viene acquistata da grandi aziende multinazionali. Fra gli acquirenti finali ci sono però anche organizzazioni non a scopo di lucro, enti pubblici e privati cittadini. L’implementazione di CORSIA potrà dare nuovo slancio al mercato volontario dei crediti compensativi se gli standard che verranno stabiliti dall’ICAO saranno compatibili con quelli attualmente in vigore nel mercato volontario. Un altro elemento importante che l’ICAO dovrà stabilire è il periodo di validità dei crediti compensativi dal momento della realizzazione del progetto finanziato. L’ICAO si è impegnato a pubblicare i criteri che dovranno essere rispettati entro il 2021.

Tabella 2 – Compagnie aeree che offrono la possibilità di acquisto di crediti compensativi ai propri passeggeri

Regions	# of Airline Headquarters	# of Airlines Offering Voluntary Offsetting
Asia	31	9
Europe	34	7
Africa	10	2
Oceania	8	3
Latin America & Caribbean	21	3
North America	14	4
Non-EU Europe	11	1

Fonte: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf

Alcune compagnie aeree hanno già iniziato ad acquistare crediti compensativi nel mercato volontario, anche in ottemperanza della normativa vigente, ad esempio l'EU ETS. Ad oggi, però, solo 29 su 129 delle maggiori compagnie aeree permette ai propri passeggeri di acquistare crediti compensativi nel mercato volontario. 15 compagnie acquistano direttamente crediti compensativi nel mercato volontario senza passare attraverso intermediatori, ma di queste solo 11 offrono la possibilità di acquistare i crediti ai propri passeggeri. Sono soprattutto le compagnie aeree con sede in Oceania, Asia e Nord America ad utilizzare il mercato volontario dei crediti compensativi.

5. CONCLUSIONI

La domanda di trasporto aereo è in continuo aumento e l'impatto sull'ambiente causato dalle emissioni di CO₂ prodotte dal settore aereo, per quanto ancora piccolo rispetto a quello generato da altri settori, inizia a diventare preoccupante. Il costo sociale causato dal cambiamento climatico è una fonte di inefficienza che il decisore pubblico è chiamato a correggere.

La teoria propone al decisore pubblico diverse soluzioni per mitigare il problema del cambiamento climatico, esternalità negativa che risulta particolarmente complessa perché, a differenza delle altre forme di inquinamento atmosferico, produce effetti di portata globale: strumenti istituzionali, la cui implementazione è relativamente semplice e poco costosa ma dall'efficacia limitata, strumenti di tipo "command-and-control", più efficaci dei precedenti ma rigidi e meno efficienti di una terza tipologia di strumenti, quelli "market-based", che hanno il pregio di produrre un doppio beneficio, ambientale e fiscale, ma che per

produrre gli effetti attesi ed evitare fenomeni di free-riding e “carbon leakage”, devono essere applicati globalmente. L’Unione Europea ha scelto la via dei permessi scambiabili limitatamente ai voli effettuati all’interno del continente con il sistema “cap-and-trade” EU ETS, mentre l’ICAO ha deciso di utilizzare lo schema CORSIA basato su crediti compensativi che entrerà in vigore in fase sperimentale nel 2021. Gli obiettivi di CORSIA sono particolarmente ambiziosi perché, a fronte di tassi di crescita di attraversamento dei cieli registrati nel 2018 da parte degli aeromobili pari a 7,4% in Italia, 6,3% in Spagna, 4,5% in Francia, 3,3% in Gran Bretagna e 2,6% in Germania, per citare solo i dati riferiti all’ultimo anno nel contesto europeo²⁵, punta ad un dimezzamento delle emissioni rispetto ai livelli prodotti nel 2005.

Le implicazioni sui costi operativi delle compagnie aeree che, per ottemperare a quanto previsto da CORSIA, potranno da un lato investire in innovazione tecnologica, in efficientamento operativo e nell’uso di biocarburanti, e dall’altro finanziare progetti finalizzati alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, sono ancora incerti. Per quanto attiene alla capacità del settore di ridurre al suo interno le emissioni, infatti, si prevede da un lato che non sarà possibile scendere oltre un certo livello soglia, e dall’altro che i tempi di implementazione delle innovazioni tecnologiche più efficaci ai fini della riduzione delle emissioni di CO₂, come ad esempio l’uso di velivoli elettrici, saranno molto lunghi, di fatto incompatibili con l’urgenza della risoluzione del problema. La via dell’acquisto di crediti compensativi, del resto, può accorciare i tempi di raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni, ma l’entità dei costi che ne deriveranno per le compagnie aeree, così come la loro capacità di scaricare tali maggiori oneri sugli utenti rimangono un’incognita. Ad oggi solo una piccola percentuale delle maggiori compagnie aeree offre ai propri passeggeri la possibilità di acquistare crediti compensativi, inoltre non esistono dati su come i fondi raccolti dalle compagnie vengano di fatto utilizzati.

²⁵ <http://www.travelquotidiano.com/trasporti/enav-conti-in-salute-grazie-alla-crescita-record-del-traffico-aereo/tqid-360771>

1. European Commission (2017) Annual Analyses related to the EU Air Transport Market 2016, https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016_eu_air_transport_industry_analyses_report.pdf
2. Aldy, J. E., Barrett, S., & Stavins, R. N. (2003) Thirteen plus one: a comparison of global climate policy architectures, *Climate policy*, 3(4), 373-397.
3. Araghi, Y., Kroesen, M., Molin, E., and B. Van Wee (2016) Revealing heterogeneity in air travelers' responses to passenger-oriented environmental policies: A discrete-choice latent class model, *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(9), 765-772.
4. Baldwin, R., Cave, M., & Lodge, M. (2012) *Understanding regulation: theory, strategy, and practice*. Oxford University Press on Demand.
5. Blasch, J., & M. Farsi (2012): 'Retail demand for voluntary carbon offsets—a choice experiment among Swiss consumers', MPRA Paper No. 41259 <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/41259/>
6. Blasch, J., & M. Farsi (2014): 'Context effects and heterogeneity in voluntary carbon offsetting—a choice experiment in Switzerland', *Journal of Environmental Economics and Policy*, 3(1), 1-24.
7. Choi, A. S. (2015) An experimental study to explore WTP for aviation carbon offsets: the impact of a carbon tax on the voluntary action, *Journal of Environmental Planning and Management*, 58(9), 1617-1634.
8. Engel, K. H., & Saleska, S. R. (2005). Subglobal regulation of the global commons: The case of climate change. *Ecology LQ*, 32, 183.
9. Fankhauser, S., Hepburn, C., & Park, J. (2010). Combining multiple climate policy instruments: how not to do it. *Climate Change Economics*, 1(03), 209-225.
10. Goulder, L. H. (1995). Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International tax and public finance*, 2(2), 157-183.
11. Kaplow, L. (2010). Taxes, permits, and climate change, Working paper n. 16268, National Bureau of Economic Research.
12. Kuik, O., & Mulder, M. (2004). Emissions trading and competitiveness: pros and cons of relative and absolute schemes. *Energy Policy*, 32(6), 737-745.
13. McKibbin, W. J., & Wilcoxon, P. J. (2002). The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives*, 16(2), 107-129.
14. Nocera, S., Tonin, S., & Cavallaro, F. (2015). The economic impact of greenhouse gas abatement through a meta-analysis: Valuation, consequences and implications in terms of transport policy. *Transport Policy*, 37, 31-43.
15. Nordhaus, W. D. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. *Journal of economic literature*, 45(3), 686-702.
16. Ockwell, D., Whitmarsh, L., & O'Neill, S. (2009). Reorienting climate change communication for effective mitigation: forcing people to be green or fostering grass-roots engagement?. *Science Communication*, 30(3), 305-327.

17. Parry, I. W. (1995). Pollution taxes and revenue recycling. *Journal of Environmental Economics and management*, 29(3), S64-S77.
18. Parry, I. W., Bento, A., M., R. (1999). Revenue recycling and the welfare effects of road pricing. Policy research working paper n. 2253, The World Bank.
19. Pearce, D. (1991). The role of carbon taxes in adjusting to global warming. *The economic journal*, 101(407), 938-948.
20. Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., & Common, M. (2003). *Natural resource and environmental economics*. Pearson Education.
21. Pizer, W. A. (2002). Combining price and quantity controls to mitigate global climate change. *Journal of public economics*, 85(3), 409-434.
22. Pizer, W. A. (1997). Prices vs. quantities revisited: the case of climate change (No. 1318-2016-103316).
23. Sonnenschein, J., and N. Smedby (2018), Designing air ticket taxes for climate change mitigation: insights from a Swedish valuation study, *Climate Policy*, 1-13.
24. Stavins, R. N. (1997). Policy instruments for climate change: how can national governments address a global problem. Discussion Paper 97-11, Resources for the Future.
25. Stavins, R. N. (2003). Experience with market-based environmental policy instruments. In *Handbook of environmental economics* (Vol. 1, pp. 355-435). Elsevier.
26. Sterner, T. (2007). Fuel taxes: An important instrument for climate policy. *Energy policy*, 35(6), 3194-3202.
27. Tews, K., Busch, P. O., & Jörgens, H. (2003). The diffusion of new environmental policy instruments 1. *European journal of political research*, 42(4), 569-600.
28. Whitmarsh, L., Seyfang, G., & O'Neill, S. (2011). Public engagement with carbon and climate change: to what extent is the public 'carbon capable'?. *Global environmental change*, 21(1), 56-65.

Nel 2018 le emissioni di CO₂ a livello mondiale sono state pari a 37,1 gigatonnellate, con una tendenza ancora in crescita. Siccome a tale aumento si associa un progressivo innalzamento della temperatura media del pianeta, gli accordi di Parigi sui cambiamenti climatici stipulati nel 2015 e firmati da 184 paesi mirano a ridurre le emissioni di CO₂ al fine contenere l'aumento della temperatura nel 2050 a livello di 1,5 (massimo 2,0) gradi superiori ai livelli preindustriali.

Per realizzare questi obiettivi è necessario che tutti i settori di attività economica e produttiva contribuiscano a ridurre i loro attuali livelli di emissioni. Tra questi, il settore trasporti ha una grande responsabilità in quanto nel 2018 ha emesso 6,4 gigatonnellate di CO₂, pari a poco meno del 20% del totale. Ciò è legato al fatto che il settore dei trasporti è quasi esclusivamente dipendente da combustili fossili (per circa il 93%), in particolare di quelli derivanti dal petrolio, utilizzati per alimentare i motori a combustione interna dei veicoli con effetti avversi sia a livello locale (inquinamento atmosferico) sia a livello globale (le emissioni di CO₂).

Gli elementi di preoccupazione si accrescono ulteriormente osservando che, mentre a livello complessivo le emissioni totali di CO₂ calano, in diverse aree del mondo le emissioni del settore dei trasporti aumentano sia in termini relativi che in termini assoluti.

