

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
«Propulsione aerea: impatto
ambientale e prospettive future»***

Tutor universitario: Prof. Campanale Manuela

Laureanda: *Serafin Elena*

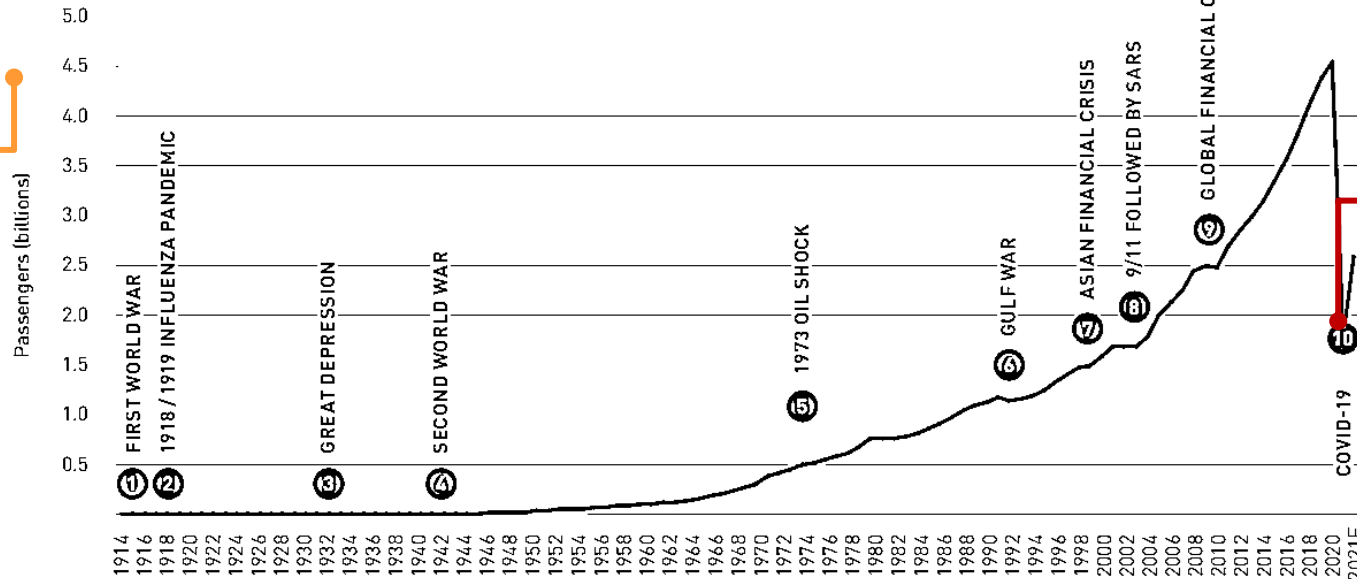
Padova, 16/09/2022

Si prevede che l'aviazione torni velocemente ai livelli pre-pandemia e che la sua crescita continui ad aumentare

Trasporto aereo passeggeri globale dal 1914 al 2021 [miliardi]

4,5 mld
NEL 2019

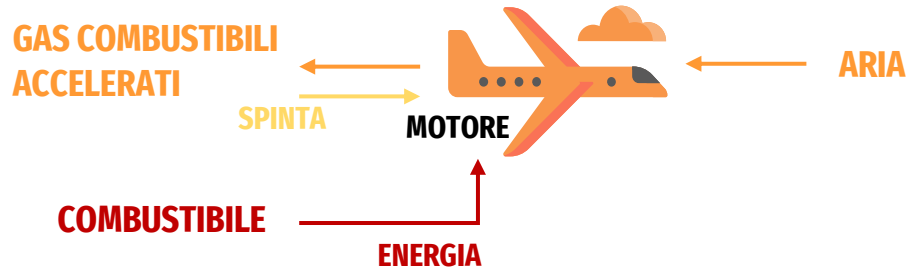
Crescita notevole: da
1,5 miliardi di
passeggeri trasportati
nel 2000



COVID-19
NEL 2020

10 mld
PASSEGGERI NEL 2050

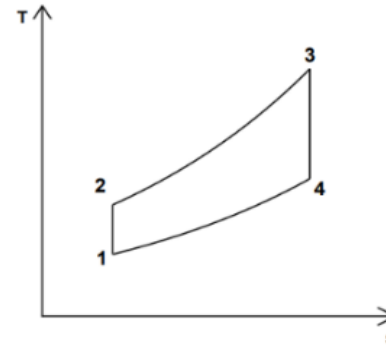
Conseguenza però è un forte impatto ambientale e un contributo maggiore al riscaldamento globale



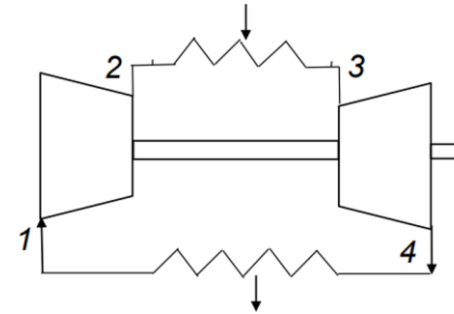
Sistemi propulsivi a reazione generano una forza propulsiva, la spinta, a seguito dell'incremento della quantità di moto di una massa di gas, ottenuta a spese dell'energia chimica di un combustibile

Ciclo termodinamico di riferimento di una turbina a gas: **ciclo Brayton-Joule**

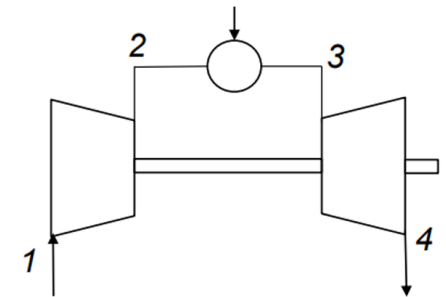
$$\text{Rendimento termodinamico: } \eta_{th} = \frac{L_u}{Q_e} = 1 - \frac{1}{\beta_c^{(k-1)/k}}$$



CICLO IDEALE



CICLO CHIUSO



CICLO APERTO

All'uscita del turbogas i gas combusti in pressione vengono accelerati in un ugello propulsivo e fuoriescono ad una velocità più elevata di quella con cui l'aria entra nel motore, generando la **spinta F**



Rendimento propulsivo:

$$\eta_p = \frac{\text{Potenza propulsiva}}{\text{Potenza del getto}} = \frac{P_p}{P_j} \approx \frac{2v}{1+v}$$

$v = V_0/u_e$ = velocità di volo/velocità di fuoriuscita del getto



TURBOFAN (TURBOGETTO A DOPPIO FLUSSO)

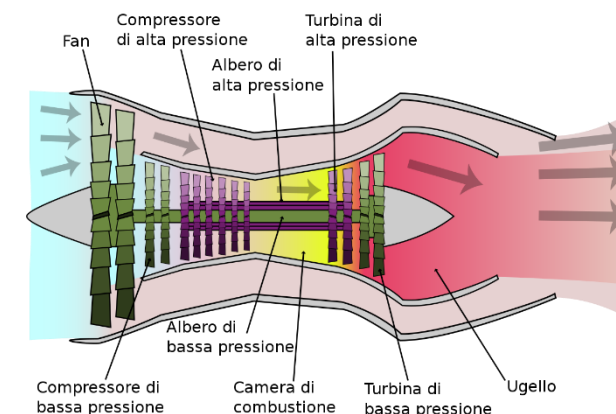
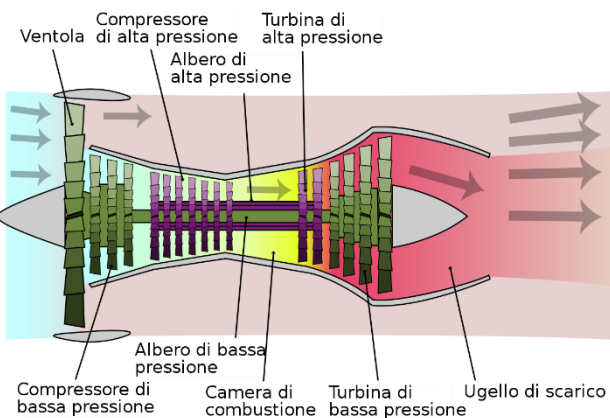
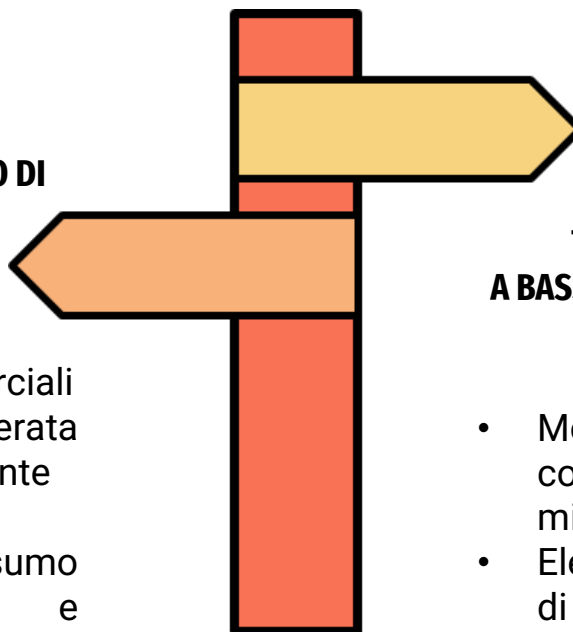
- Buone efficienze e prestazioni in tutto il campo di velocità subsonico
- Un'elica intubata (fan, ventola) contribuisce alla spinta
- Rapporto di bypass (BPR)

TURBOFAN AD ALTO RAPPORTO DI BYPASS

- Aerei commerciali
- Spinta generata prevalentemente dalla ventola
- Basso consumo specifico e inquinamento acustico

TURBOFAN A BASSO RAPPORTO DI BYPASS

- Moderni aerei da combattimento militari
- Elevate velocità di volo
- Elevato rapporto spinta/peso



FATTORE DI CARICO PASSEGGERI

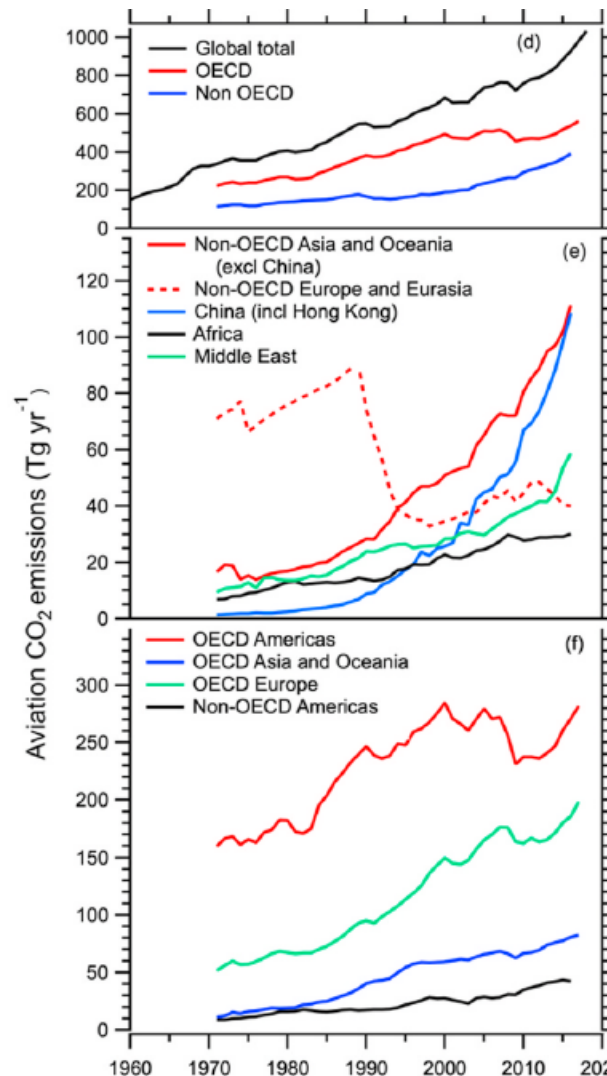
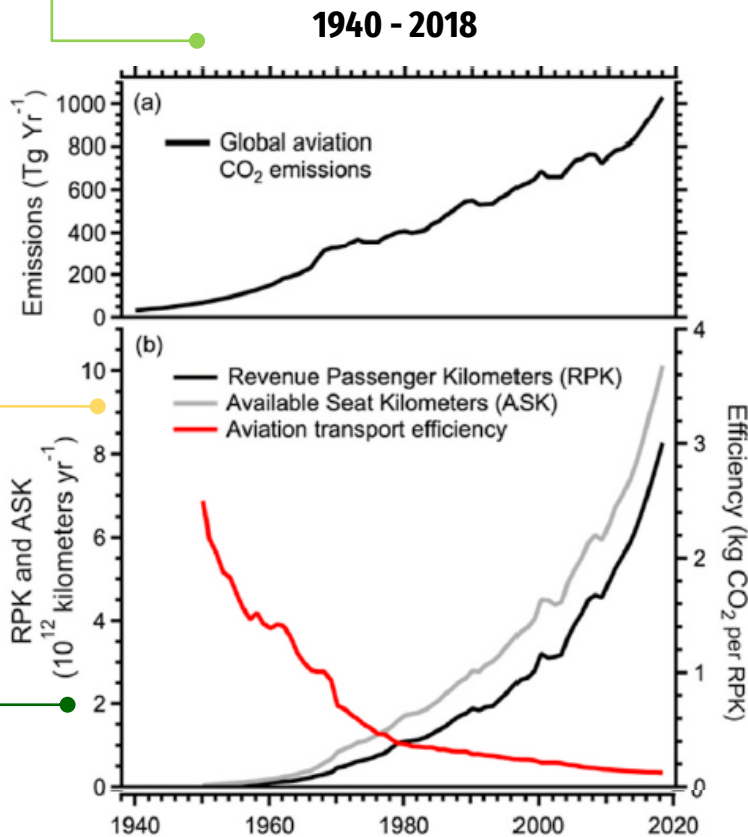
60% nel 1960 - **82%** nel 2018

EMISSIONI

Aumento medio annuo emissioni di 15 Mt di CO₂ (+ 3,3% medio)

EMISSIONI CUMULATIVE

32,6 mld di tCO₂ (50% emesso negli ultimi 20 anni)



2-3%

Emissioni antropogeniche di CO₂ dovute al trasporto aereo

12%

Delle emissioni dei trasporti

GRAVI IMPATTI SUL CLIMA

A causa anche di emissioni **non-CO2**

**EFFETTI
DELLE
EMISSIONI**

- CO₂
- NO_x
- Vapore acqueo
- Fuliggine
- Solfato

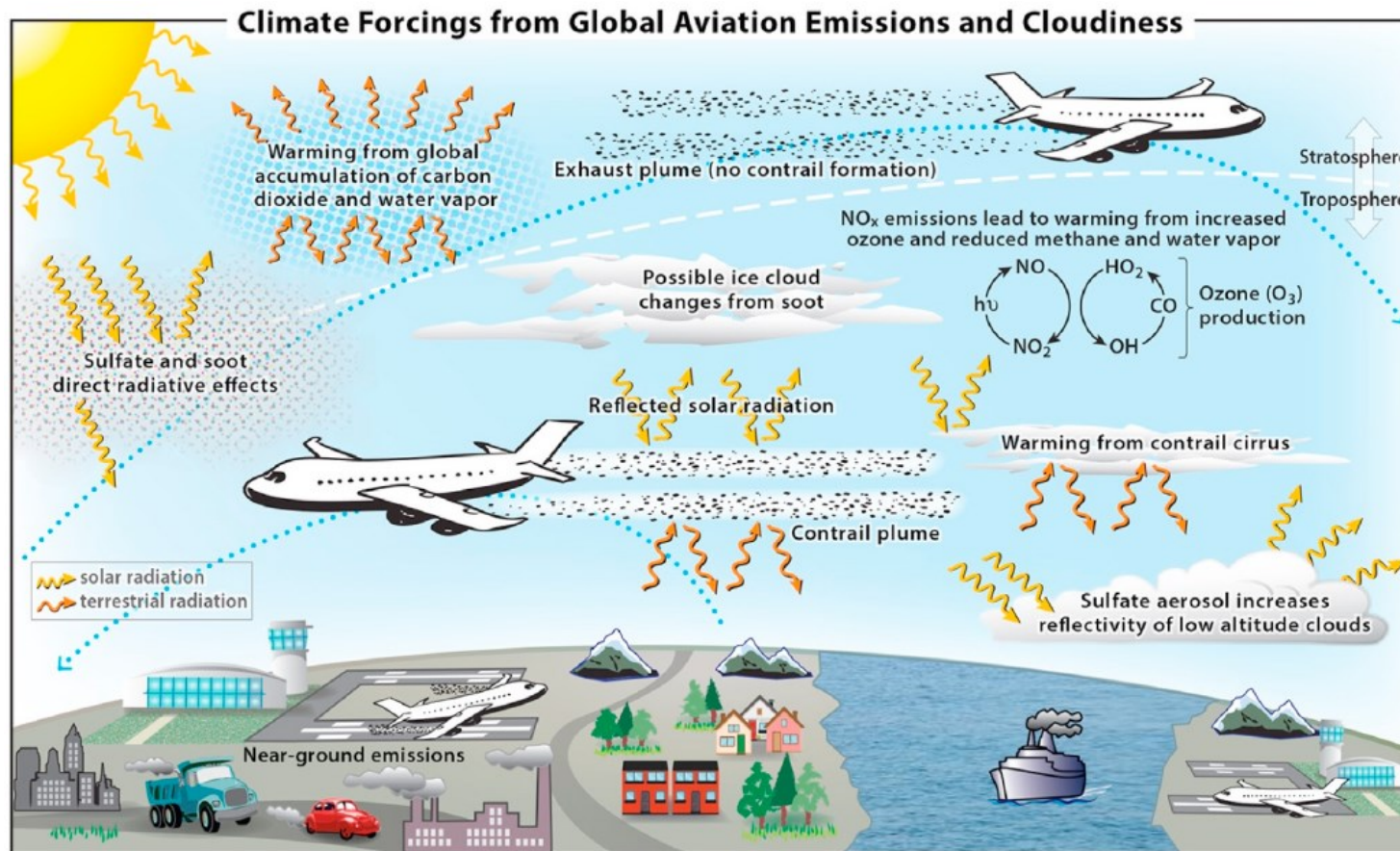
2011

Contributo aviazione del 3,5% dell'ERF antropico netto di 2290 mW/m².

ERF netto aviazione globale: +100,9 mW/m².

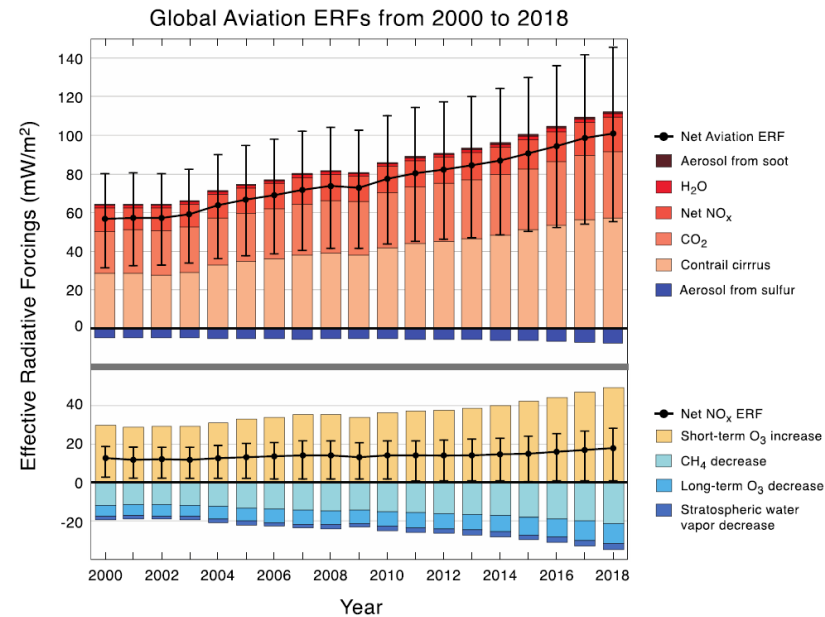
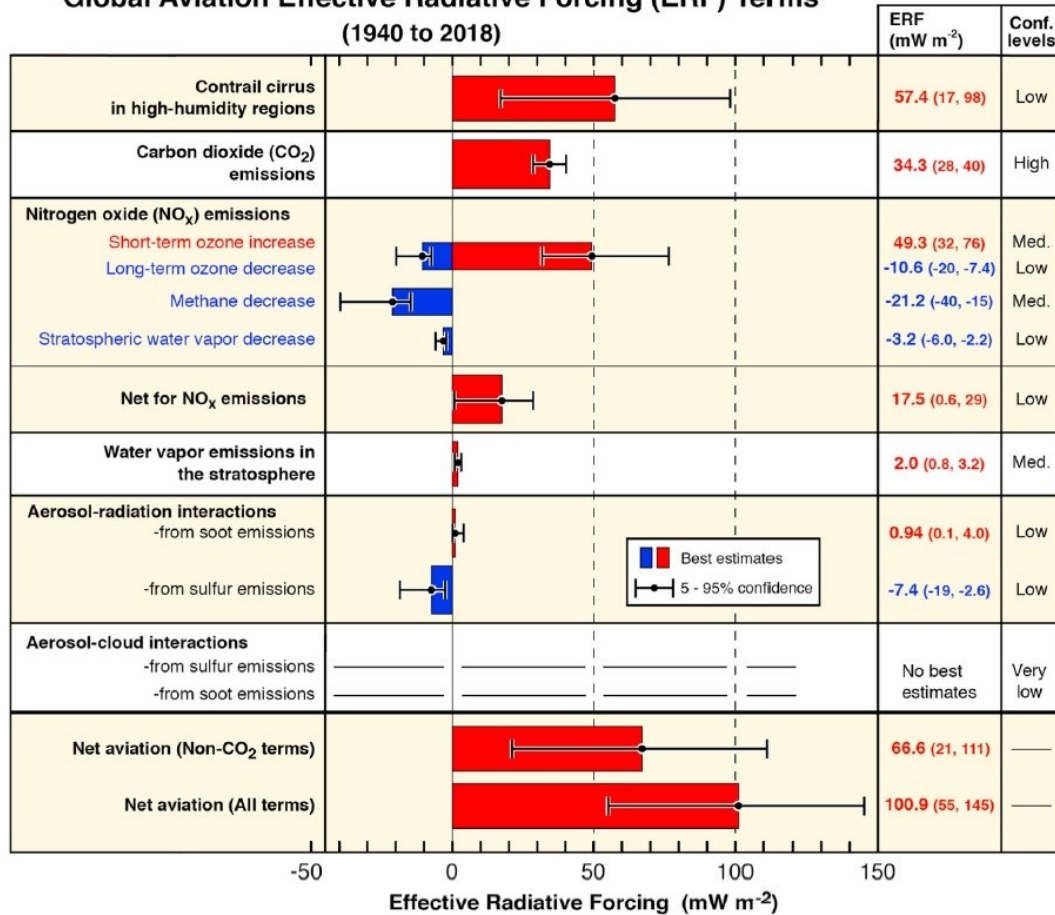
2018


Contributo dei termini non-CO₂ che producono ERF positivi: 66% dell'ERF netto.



Migliori stime degli ERF (2018)

Global Aviation Effective Radiative Forcing (ERF) Terms (1940 to 2018)





Le emissioni dell'aviazione stanno riscaldando il clima circa

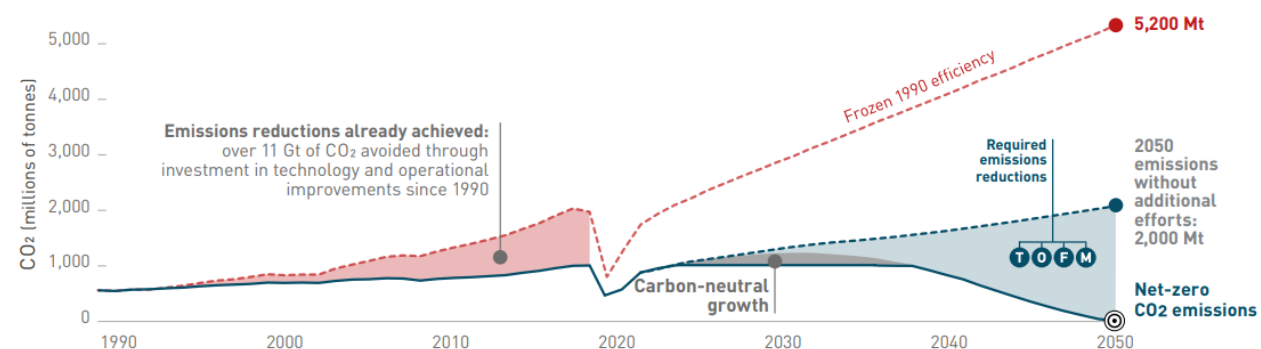
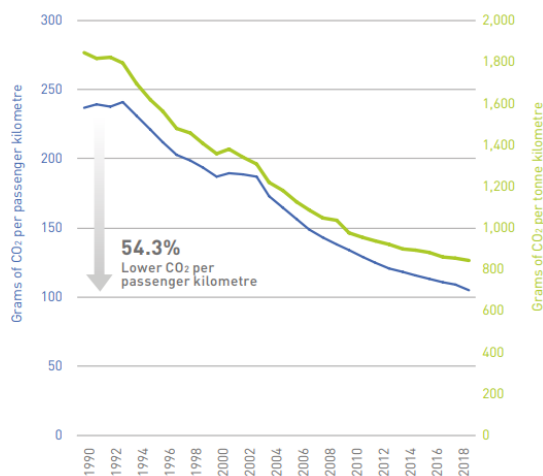
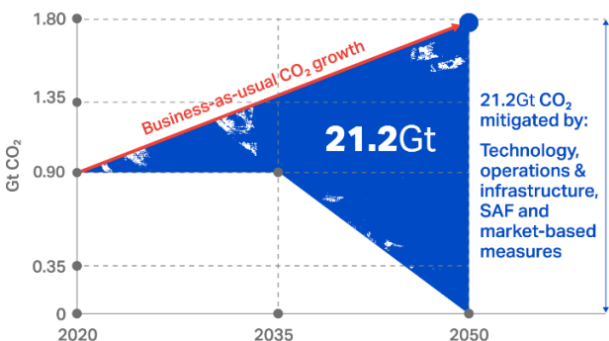
3 VOLTE

più velocemente rispetto alle sole emissioni di CO₂.

Il cambiamento climatico è una minaccia esistenziale → sono in atto numerose azioni e iniziative per limitare l'impatto dell'aviazione sul riscaldamento globale con l'obiettivo di raggiungere le **ZERO emissioni nette di CO2 entro il 2050** e un forzante radiativo non-CO2 in diminuzione (Accordo di Parigi, 2015)

Decarbonizzazione necessaria e sostenuta dai Governi: transizione energetica rapida e globale verso fonti di energia sostenibili

Net Zero: Aviation carbon emissions to be abated by 2050



1

OBIETTIVO ZERO NETTO

- Carburante sostenibile per l'aviazione (SAF)
- Nuove tecnologie e sistemi di propulsione
- Miglioramenti operativi e infrastrutturali
- Compensazioni e tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂

2

MIGLIORAMENTI AVVENUTI

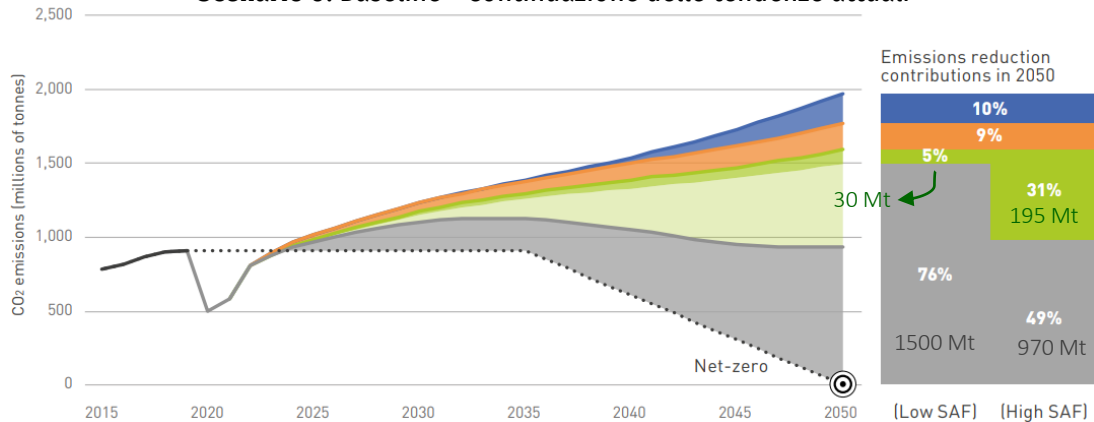
- Miglioramento continuo dell'efficienza del carburante
- Rinnovamento della flotta fornisce risparmio di carburante del 15-20% rispetto alla generazione precedente

3

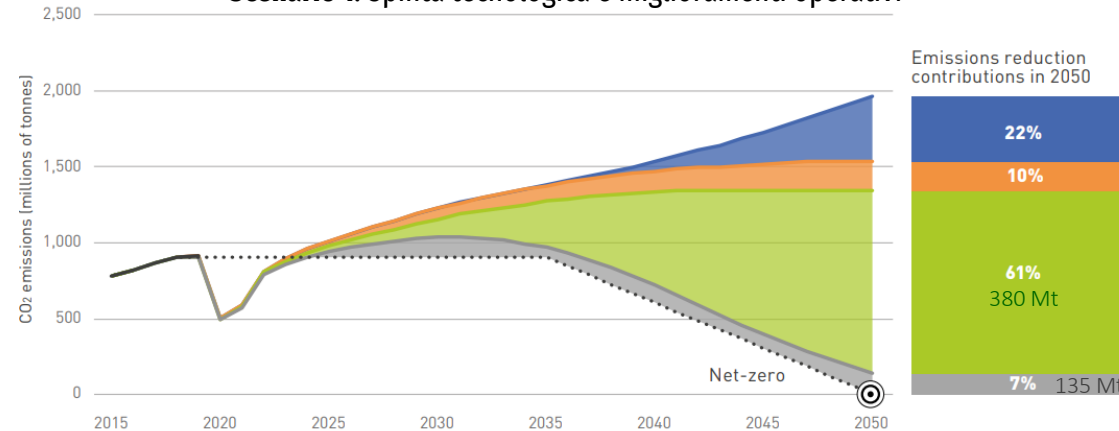
LIMITI AVIAZIONE

- Attività intrinsecamente costosa
- Lenta rotazione della flotta
- Settore difficile da decarbonizzare

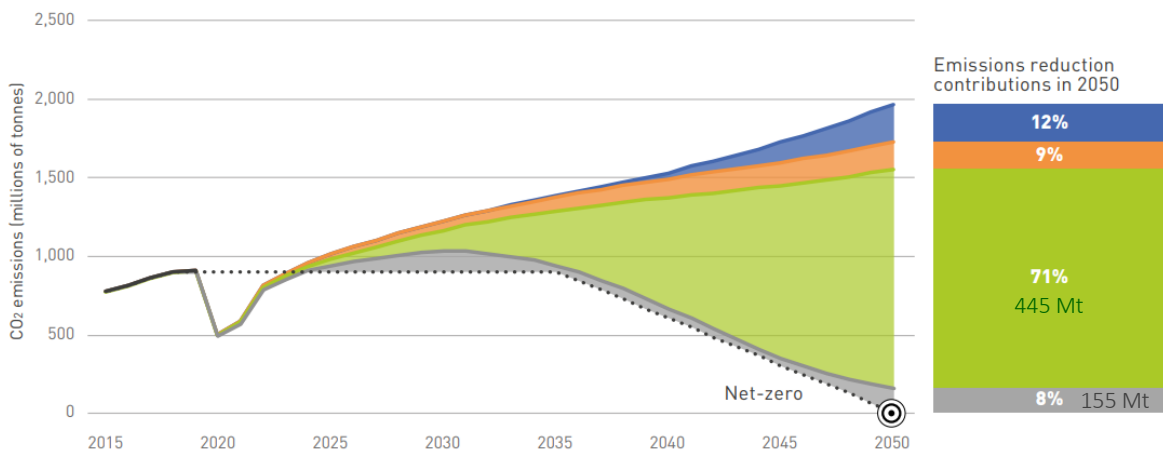
Scenario 0: Baseline - Continuazione delle tendenze attuali



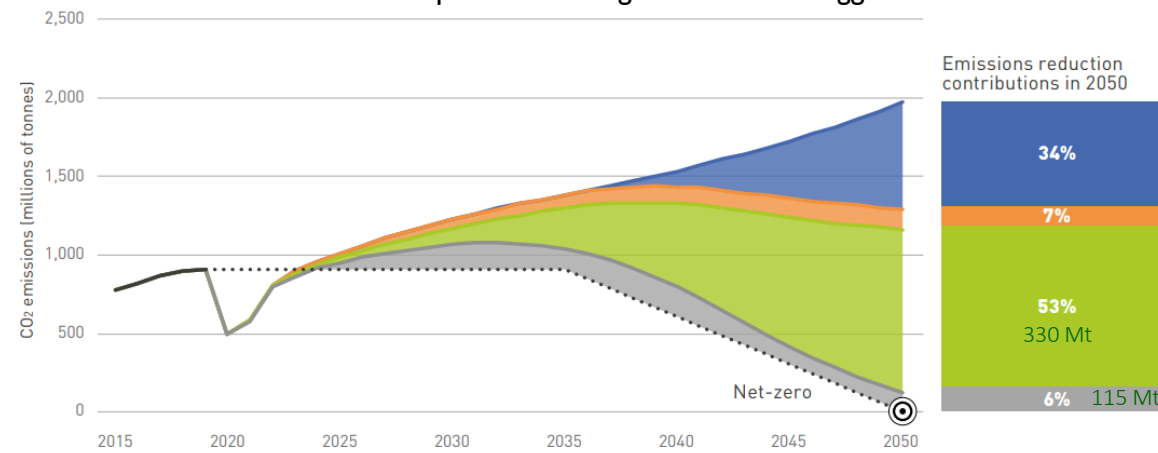
Scenario 1: Spinta tecnologica e miglioramenti operativi



Scenario 2: Grande diffusione dei carburanti sostenibili



Scenario 3: Prospettiva tecnologica ambiziosa e aggressiva

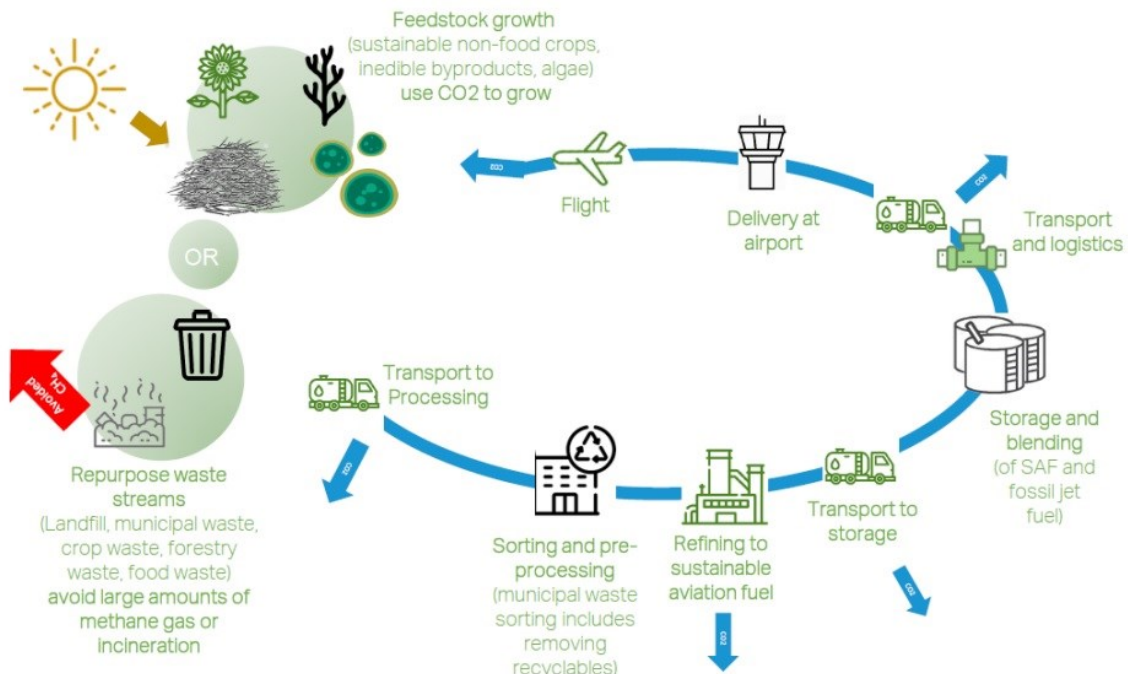


T TECHNOLOGY

O OPERATIONS AND INFRASTRUCTURE (INCLUDING EFFICIENCY IMPROVEMENTS FROM LOAD FACTOR)

F SUSTAINABLE AVIATION FUEL CON FATTORE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DEL 100% ENTRO IL 2050

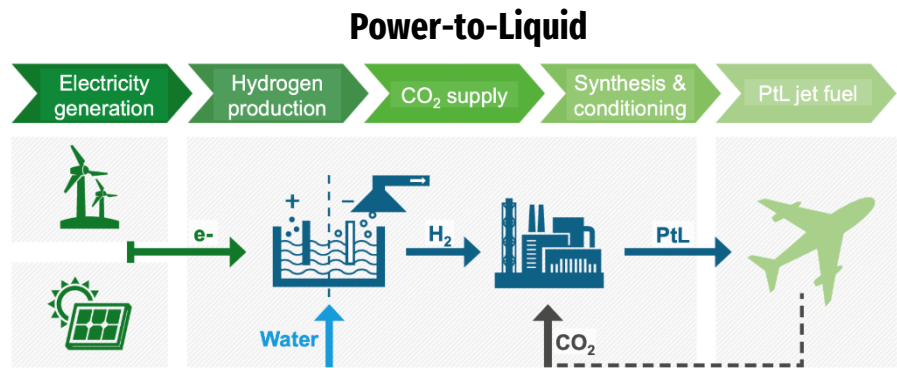
M MARKET-BASED MEASURE



- **2008**: primo volo commerciale con SAF
- Oltre **429000** voli commerciali operati con SAF
- Attuale uso SAF: **meno dell'1%** del totale carburante usato dall'aviazione
- **Prezzo SAF da 2 a 7 volte** superiore al carburante convenzionale
- 3 elementi chiave: sostenibilità, materie prime alternative al petrolio, requisiti come combustibile
- Uso di materie prime che assorbono CO₂ nella loro crescita e utilizzo di scarti/rifiuti
- Usati come **«drop-in fuel»**
- **Riduzione emissioni** di CO₂ mediamente del 70%
- Vantaggi sulla riduzione di altre emissioni

Possibile produzione annua di biojet fuel : **200 Mt**
Power-to-Liquid ha **potenziale illimitato**

Disponibilità di SAF [Mt] in base alla MP	2020	2050
Frazione organica rifiuti solidi urbani	22	22
Biomassa legnosa	51,7	51,7
Residui agricoli	52,5	57,9
Oli e grassi di scarto	11,6	13,9
Gas di scarico industriali	28,6	9,5
Colture oleaginose	13,4	16,1
Colture cellulosiche	24,8	27,4
TOTALE	205	198



8 percorsi sono approvati per la produzione di biojet fuel, certificazione svolta da *ASTM International* (corrisponde un *livello di preparazione tecnologica* –TRL- pari a 7)

Percorsi	Materie prime	Data approvazione ASTM	Attuale limite di miscelazione	Alcuni produttori
FT-SPK (Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene)	Syngas da gassificazione di residui agricoli e forestali, colture legnose, rifiuti solidi urbani	2005	50%	Fulcrum, Shell,
HEFA-SPK (synthesized paraffinic kerosene produced from hydroprocessed esters and fatty acids)	Oli da cucina usati, oli vegetali (jatropha, camelina), grassi animali	2011	50%	Neste Oil, SkyNRG
SIP-HFS (synthesized iso-paraffins produces from hydroprocessed fermented sugars)	Biomasse utilizzate per la produzione di zucchero	2014	10%	Total, Amyris
FT-SPK/A (Fischer-Tropsch synthesized paraffinic kerosene with aromatics)	Come FT-SPK	2015	50%	Sasol
ATJ-SPK (alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene)	Alcoli derivati dalla fermentazione di amidi e zuccheri o da biomassa cellulosica	2016 (isobutanolo) 2018 (etanolo)	50%	Gevo, LanzaTech
CHJ-SPK (Catalytic hydrothermolysis jet fuel)	Oli usati, vegetali	2020	50%	Ara, Euglena
HC-HEFA-SPK (synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids)	Idrocarburi bioderivati da microalga <i>Botryococcus braunii</i>	2020	10%	IHI Corporation
Co-processing	Oli vegetali, oli usati e grassi animali	2018		Fulcrum

- Produzione limitata per lento tasso di sviluppo tecnologico ed elevato costo
- Alcune opportunità per la riduzione dei costi
- Necessario **supporto politico** per sostenere la «spinta tecnologica» e colmare il divario di prezzo
- **2021**: proposta legislativa europea «ReFuelEU»
- Possibile conversione delle raffinerie di petrolio verso produzione di carburanti rinnovabili (World Energy, Neste) o strategie di co-produzione (BP, ENI)



Prima che innovativi sistemi di propulsione si diffondano su larga scala è necessario attuare una transizione veloce verso i SAF.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF



Esprime una tecnologia che potrebbe essere disponibile in commercio, ma non un uso diffuso in tutta la flotta



L'aviazione è un settore in continua espansione e risulta difficile da decarbonizzare, ma attraverso un FORTE IMPEGNO su tutti i fronti sarà possibile attenuare e auspicabilmente azzerare l'impatto che ha sul cambiamento climatico.

È essenziale cercare di agire velocemente e apportare modifiche significative senza attendere, perché il riscaldamento globale causato dall'uomo non si arresterà da solo. Questo sarà possibile solamente se i Governi e le forze politiche spingeranno verso un FUTURO SOSTENIBILE.

Grazie per
l'attenzione

