



POLITECNICO  
MILANO 1863



# La sostenibilità nel comparto del trasporto aereo

*La ricerca di Energy & Strategy – Politecnico di Milano*

Davide Chiaroni  
 Politecnico di Milano

PATTO PER LA  
**DECARBONIZZAZIONE**  
DEL TRASPORTO **AEREO**



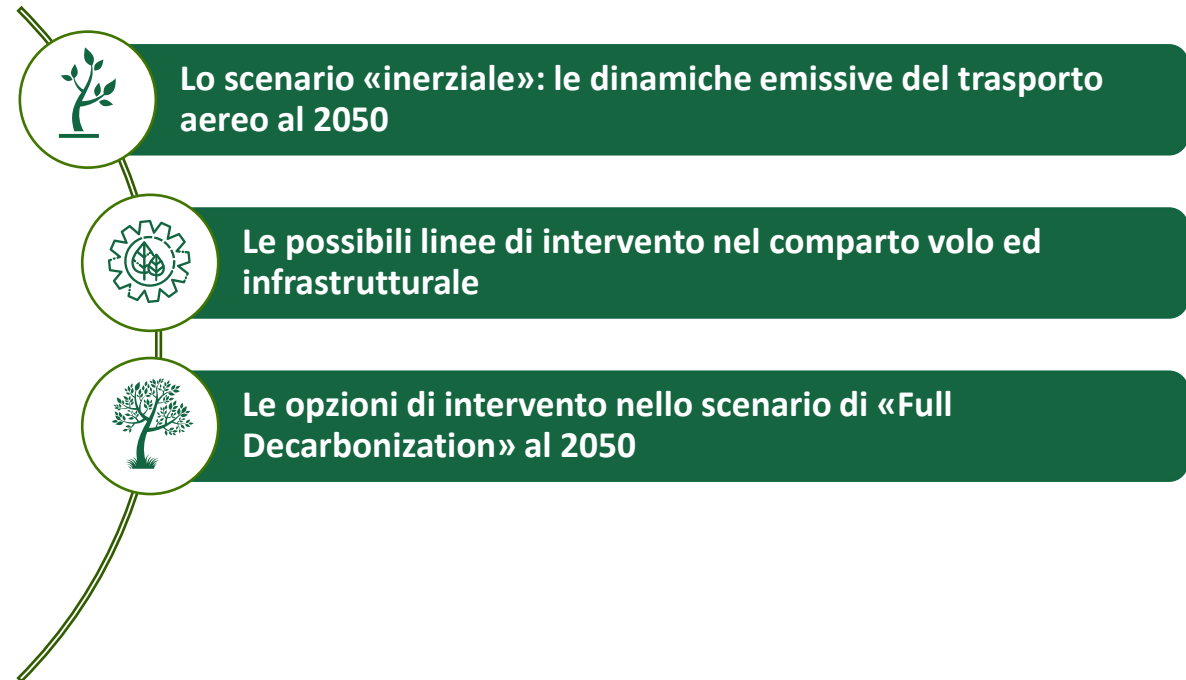
21 Settembre 2022



# Gli obiettivi e la struttura dello studio



Valutazione dei **percorsi di decarbonizzazione perseguibili dal settore del trasporto aereo** (comparto volo e infrastrutture), allo scopo di fornire elementi scientifici alla valutazione della sostenibilità del medesimo settore



# La sostenibilità del trasporto aereo... a 360°

## L'impatto del trasporto aereo sugli SDGs



- Il settore del trasporto aereo risulta di **maggiore rilevanza per gli SDG connessi alla crescita economica** (SDG 8, 9 e 12). Parimenti, la **valutazione sull'impatto climatico** (SDG 13) risulta elevata, vista anche l'importanza rivestita dal **tema delle emissioni e della decarbonizzazione del settore**.
- Risulta **significativo anche il contributo verso altri ambiti**, riferiti a **temi di disparità sociale, interconnessione culturale e salute** (SDGs 3, 4 e 5), confermando un **ruolo abilitante del trasporto aereo rispetto ad altri settori industriali**.

# La sostenibilità del trasporto aereo... a 360°

## Il ruolo abilitante del trasporto aereo rispetto ad altri settori industriali

- Il **trasporto aereo** è **parte integrante di qualsiasi ecosistema di trasporto futuro**, fornisce una **mobilità globale** ed in molti casi rappresenta **l'unico collegamento praticabile** in un contesto nazionale ed internazionale.
- Il **trasporto aereo supporta il settore turistico** ed il **commercio**, offre **posti di lavoro**, **migliora il tenore di vita** delle popolazioni e **allevia la povertà**. Inoltre, la connettività contribuisce a **migliorare la produttività**, incoraggiando gli **investimenti** e **l'innovazione**, migliorando le operazioni commerciali e consentendo di attrarre dipendenti.



Sviluppo del  
settore  
turistico



Sviluppo del  
commercio



Sviluppo di reti  
economiche



Supporto  
occupazione



Allevia la  
povertà



Integrazione  
culturale e  
sociale



Migliora il  
tenore di vita  
degli individui



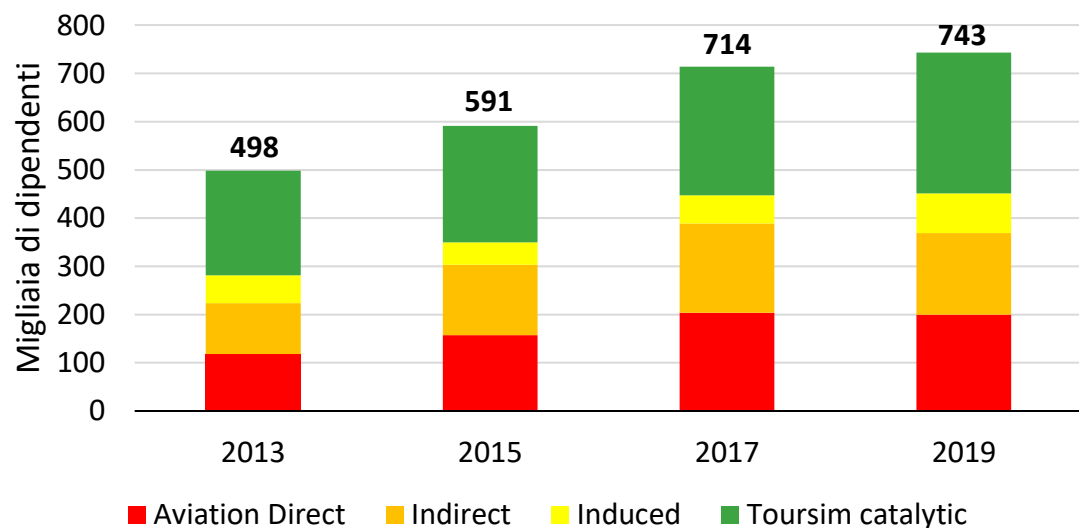
Incoraggia  
investimenti e  
innovazione

# L'impatto del trasporto aereo su occupazione e GDP

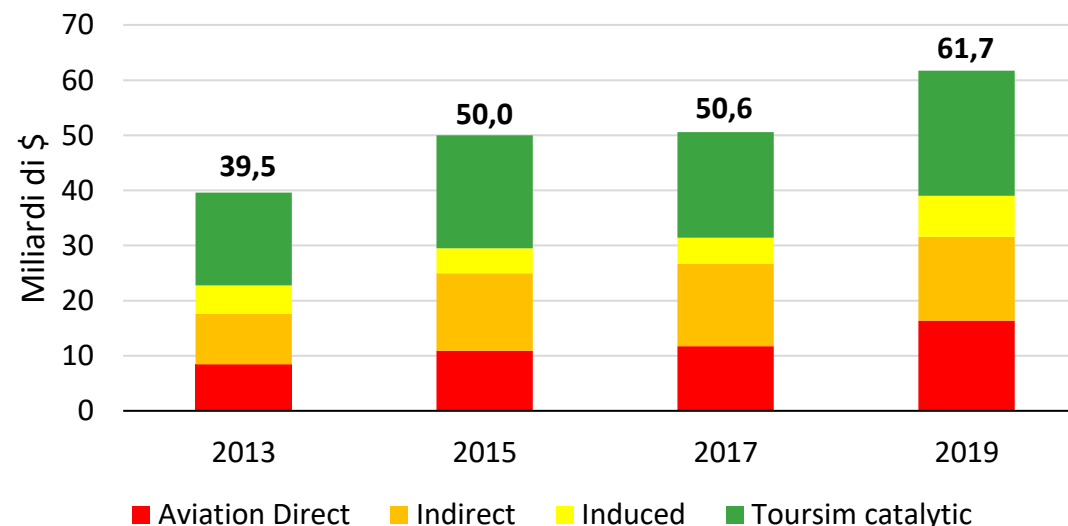
## La prospettiva a livello italiano

- Il livello di occupazione correlato al trasporto aereo arrivi a 743.000 dipendenti per l'anno 2019 (+49% rispetto al 2013).
- Analogamente, si può evidenziare come il GDP correlato al trasporto aereo raggiunga oltre 61,7 miliardi di \$ per l'anno 2019 (+56% rispetto al 2013).

L'impatto del trasporto Aereo sull'occupazione – 2019



L'impatto del trasporto Aereo sul GDP – 2019

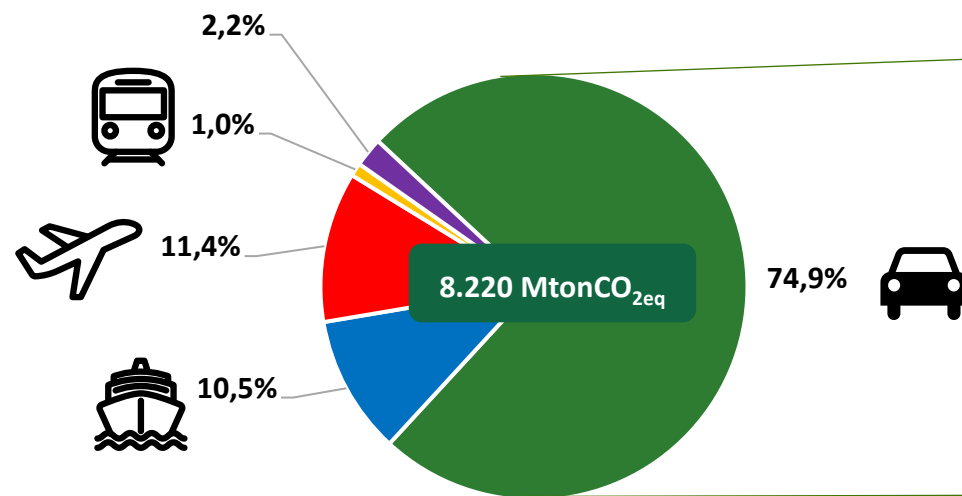


# Il trasporto aereo e le emissioni: mettiamo il problema in prospettiva

## Emissioni totali e del settore dei trasporti a livello mondiale

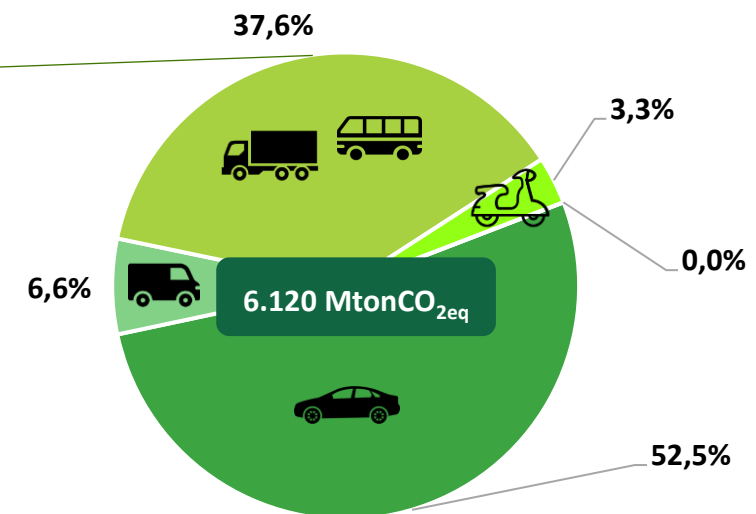
- Negli ultimi 3 decenni si è assistito ad un **forte aumento delle emissioni di GHG a livello mondiale**, da circa **35 miliardi di tonnellate di CO<sub>2eq</sub> nel 1990** ad oltre **49 miliardi nel 2018 (+40%)**. Il contributo maggiore è associato alle **industrie energetiche (32,8%)**, mentre i trasporti rappresentano il **secondo settore per emissioni di GHG (17,4%)**.

Ripartizione emissioni GHG per tipologia di trasporto - 2018



■ Stradale ■ Marittimo ■ Aereo ■ Ferroviario ■ Altro

Ripartizione emissioni GHG per il trasporto stradale - 2018



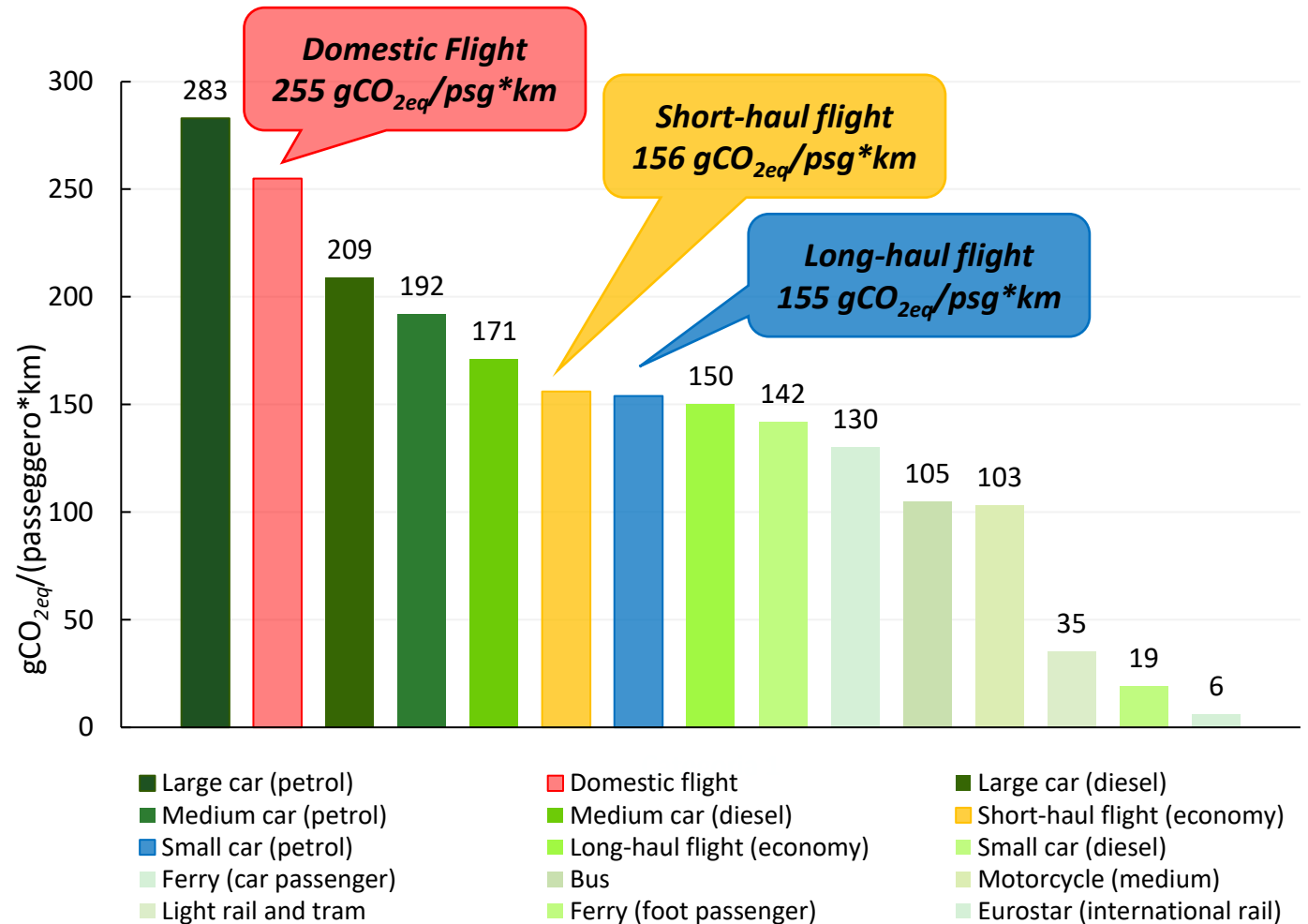
■ Passenger cars ■ Light duty vehicles ■ Heavy Duty vehicles e bus ■ Motocicli ■ Altro

- **Il trasporto aereo pesa quindi per circa il 2% del totale delle emissioni totali di GHG a livello mondiale.**

# Il trasporto aereo e le emissioni: mettiamo il problema in prospettiva

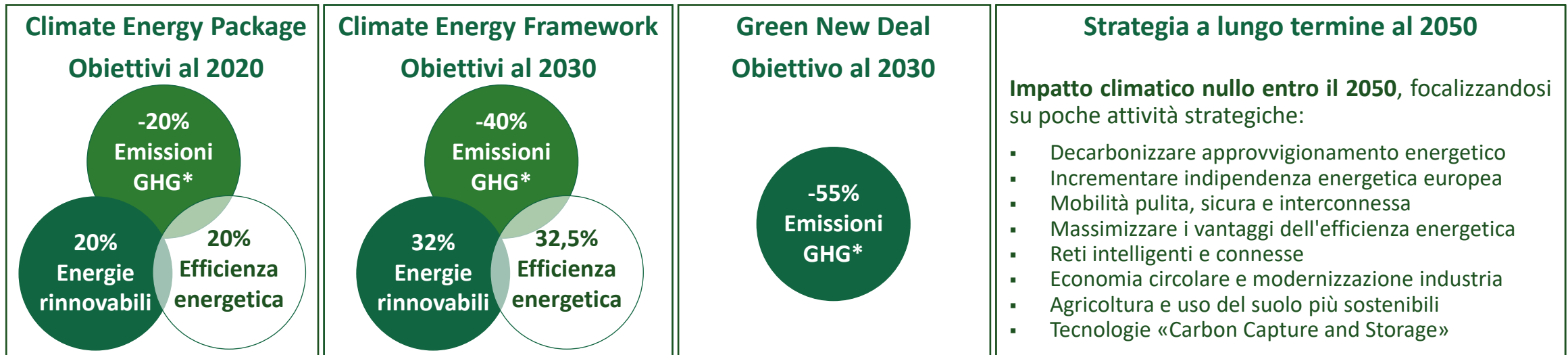
Impatto ambientale per le diverse modalità di trasporto

- Il trasporto su strada (*large car, medium car*) registra i valori emissivi complessivamente maggiori.
- Per il trasporto aereo si evince come tale valutazione risulti **più negativa se si paragonano voli di domestici** ( $255 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{psg}*\text{km}$ ) a quelli di lunga percorrenza ( $150 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{psg}*\text{km}$ ).

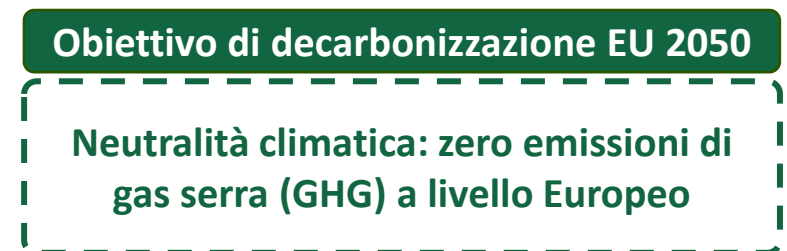


# Il trasporto aereo e le emissioni: mettiamo il problema in prospettiva

## Gli obiettivi di decarbonizzazione in Europa



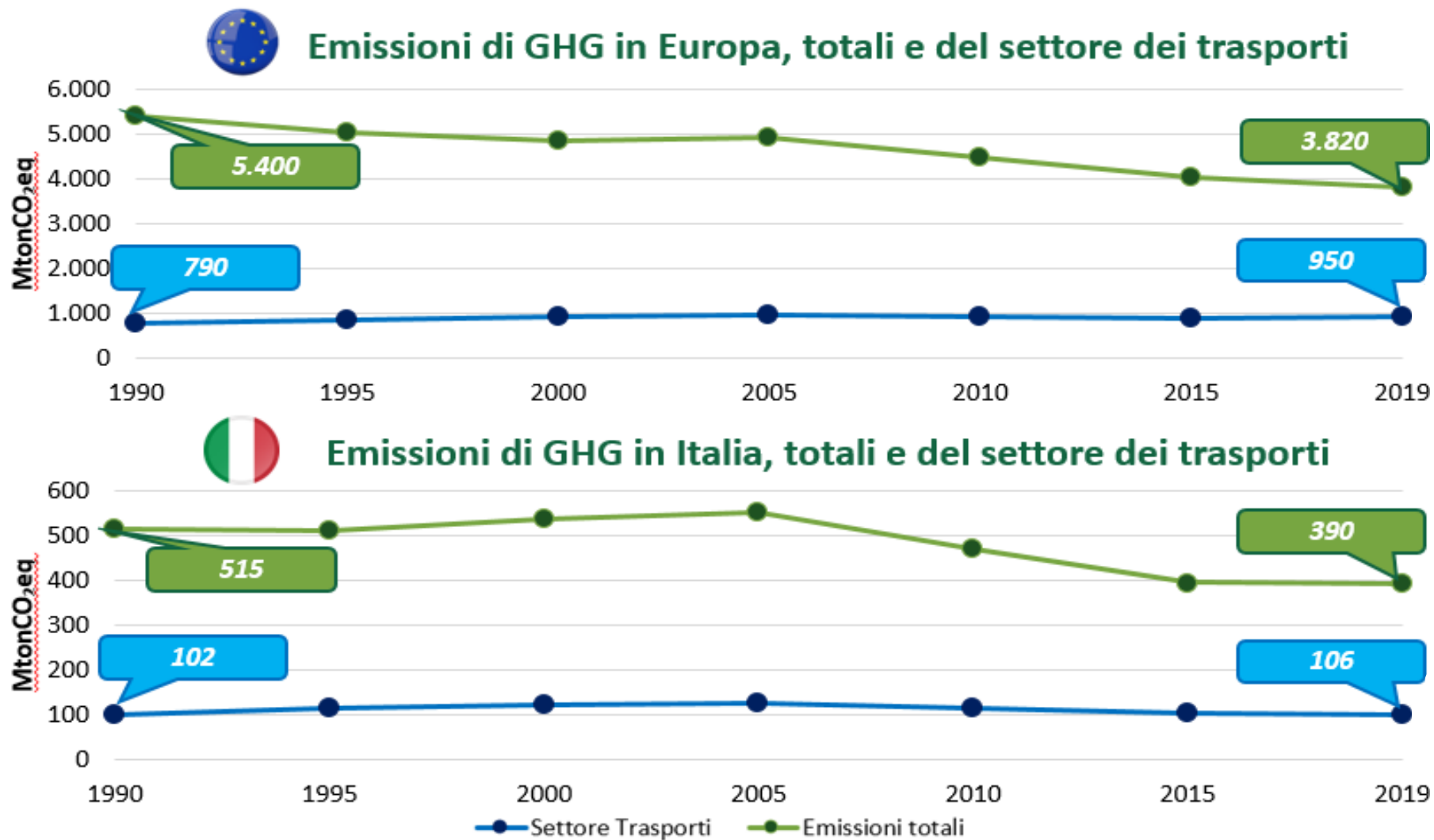
- Per raggiungere l'obiettivo di **neutralità climatica al 2050**, inoltre, a sono stati proposti alcuni **aggiornamenti** delle policy al **2030** attraverso il pacchetto «**Fit for 55**» e il «**RePowerEU**»





# Il trasporto aereo e le emissioni: la strada già percorsa

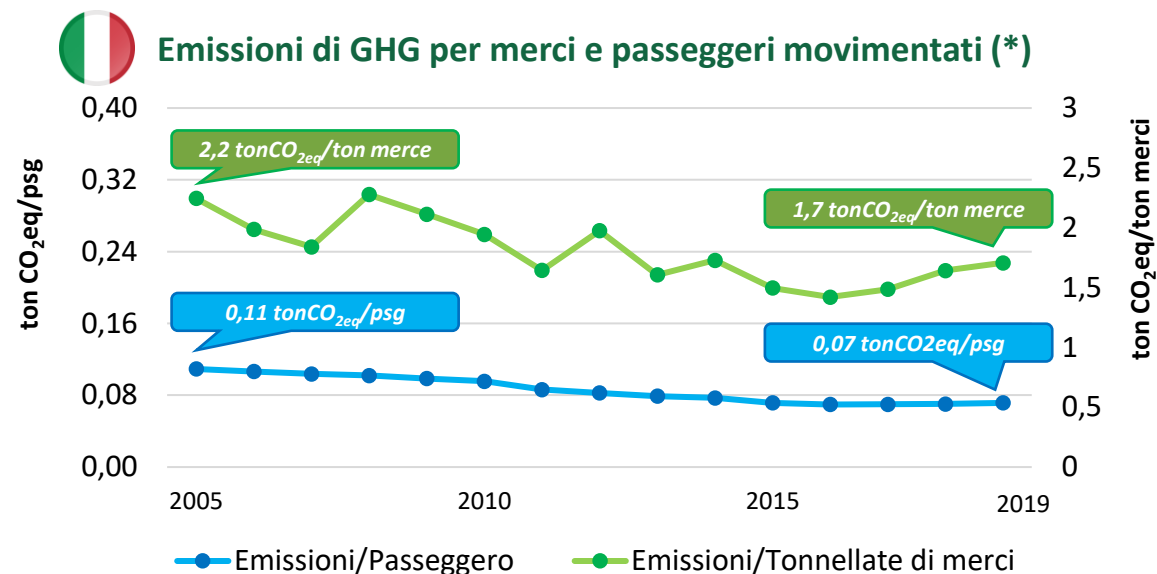
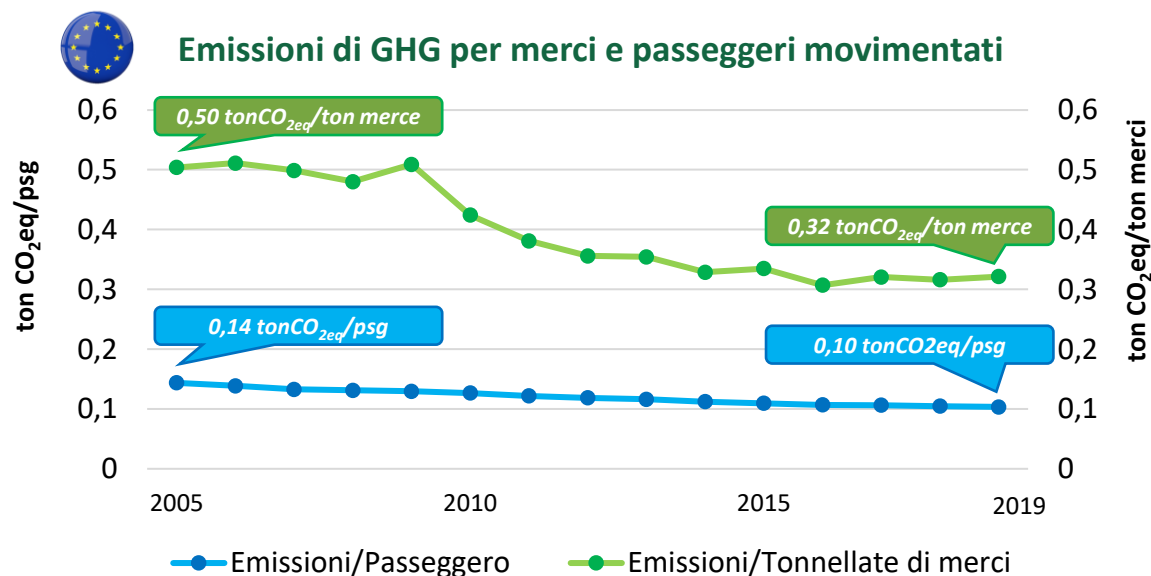
## Emissioni totali e del settore dei trasporti a livello europeo e nazionale



# Il trasporto aereo e le emissioni: la strada già percorsa

## Emissioni unitarie del settore dei trasporti a livello europeo e nazionale

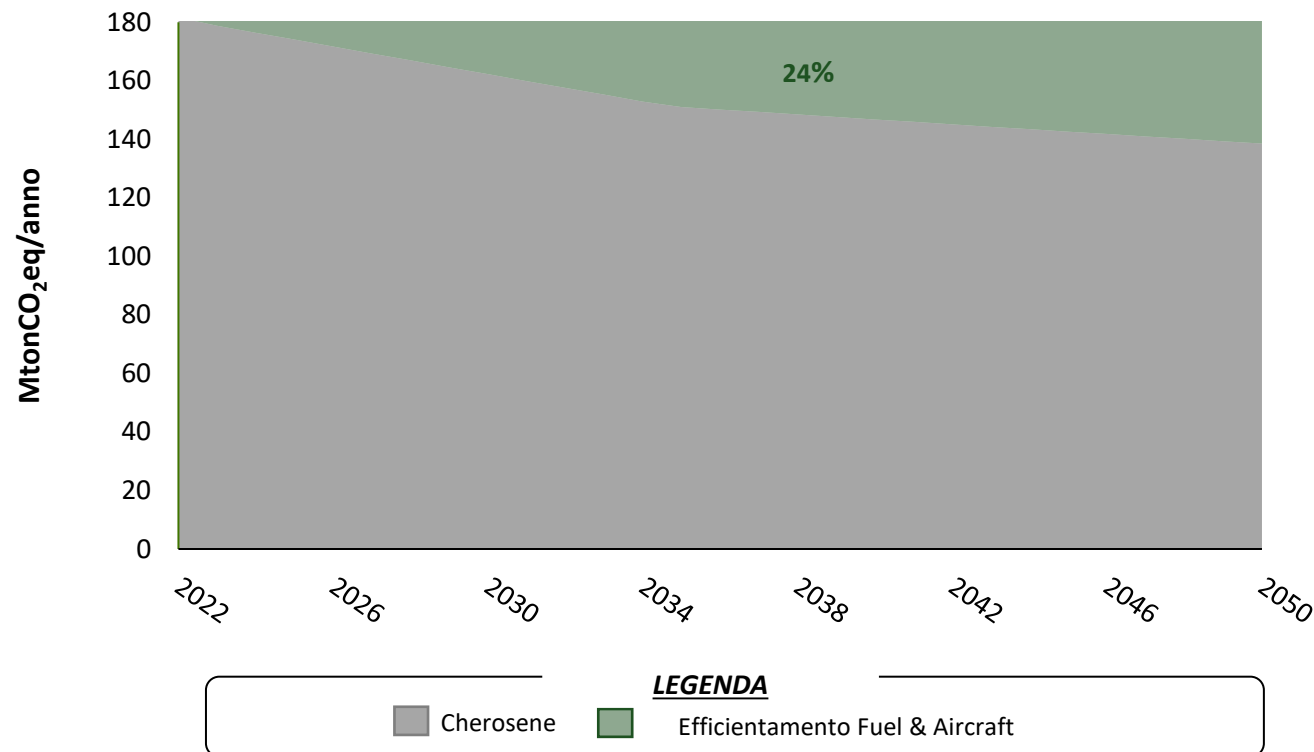
- Nel **contesto europeo** nel corso degli ultimi 15 anni, per il **trasporto persone** si è registrata una **riduzione delle emissioni GHG di circa il 30%** mentre per il **trasporto merci** si è registra una **riduzione pari al 36%**.
- Nel **contesto italiano** per il **trasporto nazionale** si assiste ad una **riduzione delle emissioni di GHG, specifiche per passeggero, di circa il 36%**, lo stesso andamento decrescente si evidenzia anche per le emissioni specifiche nel caso del **trasporto merci in ambito nazionale**, con una **riduzione di circa il 23%** negli ultimi 15 anni.



# Il trasporto aereo e le emissioni: lo scenario inerziale *iso-tecnologie*

- Nel contesto europeo, in virtù dell'**attuale mix emissivo e tecnologico**, si stima che per le dinamiche già avviate di efficientamento emissivo delle flotte, di progressivo incremento dell'intermodalità, **senza considerare la crescita del traffico aereo**, si avrebbe una **variazione delle emissioni inquinanti a 162 MtCO<sub>2eq</sub> al 2030 e 138 MtCO<sub>2eq</sub> al 2050 vs 182 MtCO<sub>2eq</sub> del 2019**.

Andamento riduzione emissioni GHG



- Un primo trend già avviato è quello di **migliorare le soluzioni di trasporto esistenti**, con lo scopo di renderle **più efficienti** e quindi riuscire a **ridurre le emissioni di GHG** in atmosfera. Interventi di questo tipo fanno riferimento ad esempio a (i) **impiego di materiali più leggeri**, (ii) **adozione di motori più performanti** e (iii) **modifiche nel design degli aeromobili per migliorarne l'aerodinamicità**.

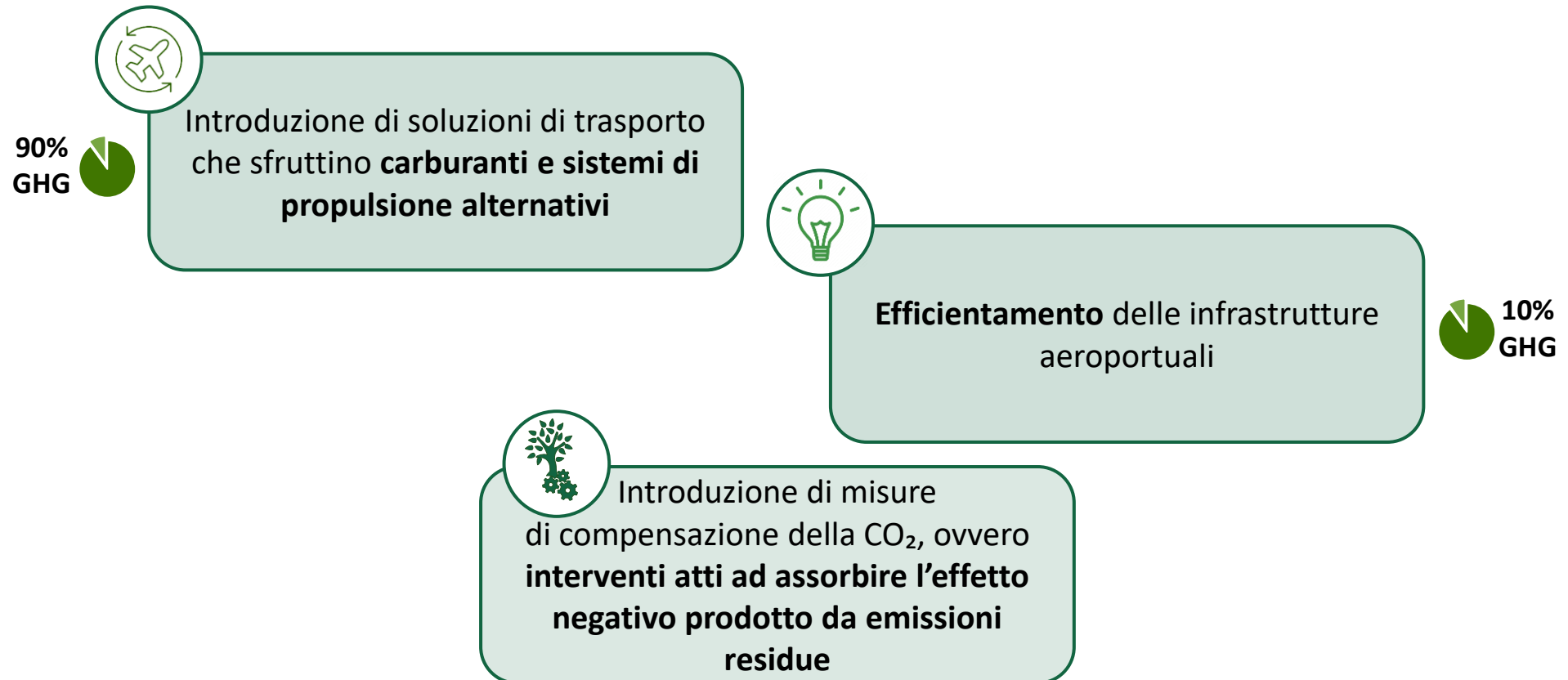
# Il trasporto aereo: un settore *hard-to-abate*

- L'applicazione delle attuali **normative europee in ambito decarbonizzazione al settore del trasporto aereo**, tuttavia, sono tutt'altro che di semplice implementazione.



# Le possibili linee di intervento

- **Non è possibile individuare una singola strategia risolutiva che permetta di azzerare le emissioni di GHG.** Al contrario, è necessario sviluppare un percorso composito ed organico, che interessi la totalità delle attività e delle operazioni di cui si compone il settore. In particolare, è possibile identificare le seguenti aree di intervento per ambire ad un percorso di totale decarbonizzazione.

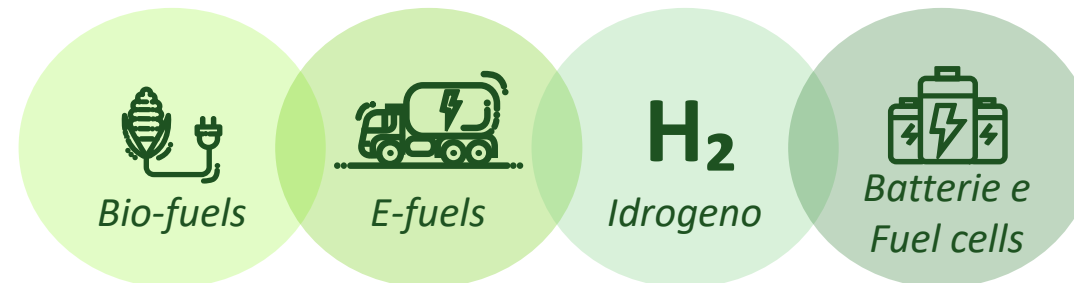


# Le possibili linee di intervento

## Carburanti e sistemi di propulsione alternativi

- I **bio-fuels** impiegati in aviazione sono in **forma liquida** ed utilizzano come **fonti primarie materiali organici**; attualmente sono certificate da ASTM sette sequenze di processo.
- Per essere utilizzati, questi carburanti, sono **miscelati con quelli tradizionali secondo differenti percentuali di «blending»**.
- Il loro **sviluppo tecnologico** risulta ad uno **stato avanzato** ed i **costi di produzione risultano abbastanza competitivi** con quelli dei carburanti tradizionali, sebbene però la **disponibilità di materie prime sia limitata rispetto alla domanda**.

- Gli **e-fuels** impiegati in aviazione sono in **forma liquida**, caratterizzati da una **maggiore densità energetica rispetto ai combustibili tradizionali** e da una **relativa facilità ed economicità di stoccaggio**.
- Ad oggi, l'**avanzamento tecnologico** per la loro produzione **risulta ancora ridotto**, anche in virtù **dell'assenza di una certificazione ASTM** per la maggior parte dei processi produttivi. La **disponibilità di materie prime per la produzione è sostanzialmente illimitata**, dovuta al fatto che la filiera dei "feedstock" non è consolidata e si sviluppa a partire dalla produzione di idrogeno verde.



- L'**idrogeno** può essere impiegato in aviazione sia allo **stato liquido che gassoso**, sebbene quest'ultima configurazione presenti **criticità in merito al suo stoccaggio**.
- L'impiego di **idrogeno liquido**, invece, risulta caratterizzato dalla **necessità di raggiungere temperature criogeniche** per il suo stoccaggio.
- Ad oggi l'**avanzamento tecnologico risulta ancora ridotto** e la produzione di idrogeno verde risulta ancora estremamente limitata a causa di **una limitata disponibilità da FER e degli elevati costi associati alla produzione e stoccaggio dello stesso idrogeno verde**.

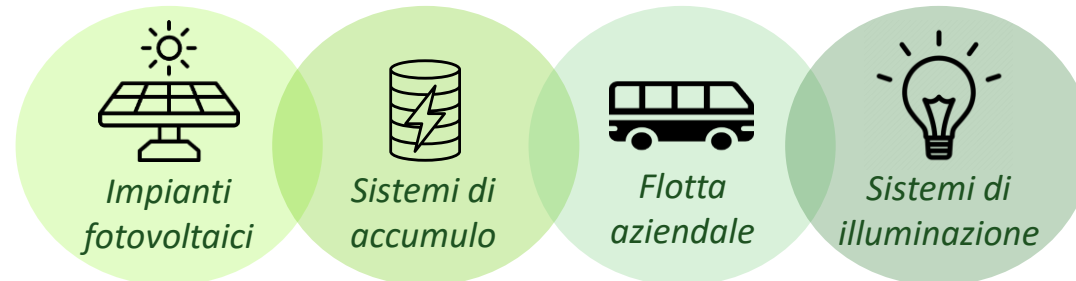
- La configurazione di aeromobili alternativi che utilizzano **motori elettrici**, sebbene questa sia agli **albori del suo sviluppo**, non ci si aspetta possa essere **applicata compiutamente prima del 2035**.
- Tra i principali effetti positivi che si registrano per un loro utilizzo, vi è la **netta riduzione delle emissioni climalteranti** se le fonti di **generazione dell'energia elettrica impiegata in volo sono "green"** e se la filiera di produzione della fonte di alimentazione (batterie o idrogeno più fuel cells) è caratterizzata da un ridotto impatto ambientale (ottica LCA).

# Le possibili linee di intervento

## Efficientamento delle infrastrutture aeroportuali

- L'installazione di impianti fotovoltaici permette di **abbattere l'impatto emissivo derivante dall'approvvigionamento di energia elettrica** dalla rete nazionale.
- In particolare, si può stimare come attraverso l'**installazione di un impianto fotovoltaico da 5 MW** si potrebbe arrivare ad un valore di emissioni di CO<sub>2</sub> evitate pari a circa **1.180 tonCO<sub>2</sub>/anno**, mentre attraverso l'installazione di un **impianto da 30 MW** si potrebbe arrivare ad un valore di emissioni di CO<sub>2</sub> evitate pari a circa **12.280 tonCO<sub>2</sub>/anno**.

- I **sistemi di accumulo termico** rappresentano la principale soluzione al fine di **sfruttare al meglio la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili**. Questi migliorano l'efficienza energetica dell'edificio potendo aumentare la quota di energia rinnovabile autoconsumata per la produzione di energia termica necessaria per il riscaldamento o raffreddamento dell'edificio stesso.
- Ad oggi esistono **differenti tipologie e tecnologie perseguibili**, ognuna delle quali caratterizzate da **specifiche criticità e vantaggi che non permettono l'individuazione di una tecnologia preponderante**.



- La possibilità di efficientare l'utilizzo della flotta aziendale attraverso l'elettrificazione della medesima, può fornire un **ulteriore supporto alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>**.
- Nel dettaglio, un'**autovettura elettrica** permette di **risparmiare circa 1,37 – 1,46 tonCO<sub>2</sub>/anno**. Parimenti, un **veicolo leggero elettrico ed un autobus elettrico** permetterebbero di **risparmiare rispettivamente circa 3,28 – 3,46 tonCO<sub>2</sub>/anno e circa 13,2 – 19,9 tonCO<sub>2</sub>/anno** (il range è riferito ad un veicolo a benzina ed uno diesel).

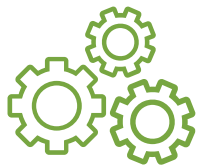
- Il **relamping dei tradizionali sistemi di illuminazione con lampade LED** può portare ad un risparmio energetico non trascurabile.
- Nel caso di **relamping di un ambiente ad uso ufficio** con una metratura complessiva **pari a 1.000 m<sup>2</sup>**, si raggiunge un **risparmio energetico tra il 50% e il 78%** (in base ad un livello di smartless crescente) e ad un **risparmio di CO<sub>2</sub> tra le 4,7 tonCO<sub>2</sub>/anno e i 7,3 tonCO<sub>2</sub>/anno**.
- Nel caso, invece, di **relamping in un ambiente ad uso «grandi stazioni»** con una metratura complessiva **pari a 9.800 m<sup>2</sup>**, si raggiunge un **risparmio energetico tra il 50% e il 78%** ed un **risparmio di CO<sub>2</sub> tra le 72,4 tonCO<sub>2</sub>/anno e i 108,6 tonCO<sub>2</sub>/anno**.

# Le possibili linee di intervento

## Misure di compensazione e *Carbon Removal*



Le **soluzioni naturali per il clima** realizzano l'eliminazione di CO<sub>2</sub> attraverso processi naturali di fotosintesi,, entro la quale possono essere evidenziate la **riconversione del territorio** (tipicamente si riferisce alla riforestazione) e la **gestione del territorio** (gestione attiva delle foreste per la cattura di carbonio e gestione del suolo agricolo per la cattura di carbonio).



Le **soluzioni ingegneristiche** impiegano solventi chimici per catturare la CO<sub>2</sub> direttamente dall'aria, per poi accumularla in formazioni geologiche. Un esempio di tali soluzioni è rappresentato dal *Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)*, ovvero una soluzione che prevede l'impiego di solventi chimici per prelevare la CO<sub>2</sub> direttamente dall'aria per poi trasportarla e stoccarla in siti di accumulo geologico di lungo termine.



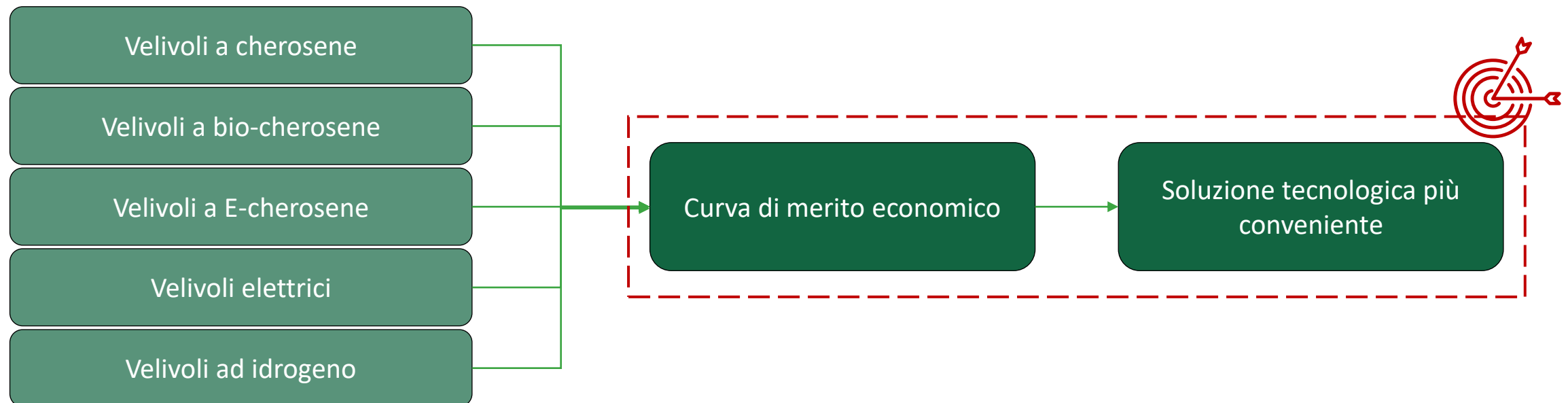
Le **soluzioni ibride** consistono in tecniche che combinano la fotosintesi naturale con la tecnologia, per realizzare la cattura e stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Tra queste, si possono evidenziare la *Bioenergy with Carbon Capture and Storage – BECCS* (le biomasse sono impiegate per produrre energia, la cui CO<sub>2</sub> risultante è catturata ed immagazzinata in siti di accumulo geologico di lungo termine).



# Un diverso scenario possibile al 2050

## Il modello del Politecnico di Milano




- Al fine di identificare nell'arco temporale 2022-2050 quale **soluzione tecnologica sia la più conveniente** per la **decarbonizzazione del settore del trasporto aereo**, sono state costruite differenti **curve di merito economico** per ognuna delle soluzioni perseguibili.
- Il modello si è concentrato sull'introduzione di soluzioni di trasporto che sfruttino **carburanti e sistemi di propulsione alternativi**



# Un diverso scenario possibile al 2050

## I range d'analisi

- Sono stati identificati **14 differenti scenari d'analisi** ottenuti attraverso l'incrocio di **due dimensioni** (i) il **range di utilizzo medio dei velivoli** e conseguentemente il **numero medio di passeggeri trasportati** e (ii) la **tipologia di velivolo**.

Tipologia di velivolo	  		
	Short range [700 NM e 100 psg]	Medium range [1.500 NM e 200 psg]	Long range [2.400 NM e 300 psg]
<i>Cherosene</i>	✓	✓	✓
<i>Bio-cherosene (SAF)</i>	✓	✓	✓
<i>E-cherosene</i>	✓	✓	✓
<i>All-electric</i>	✓	✗	✗
<i>Idrogeno turbina</i>	✓	✓	✓
<i>Idrogeno fuel-cell</i>	✓	✗	✗

- Si è modellizzato il costo di ciascuna soluzione tecnologica considerata (**LCOA, Levelized Cost of Aircraft**) come somma di quattro variabili:

$$LCOA_i \text{ [€/km]} = CAPEX_i + OPEX_i + Fuel_i + Carbon tax_i$$

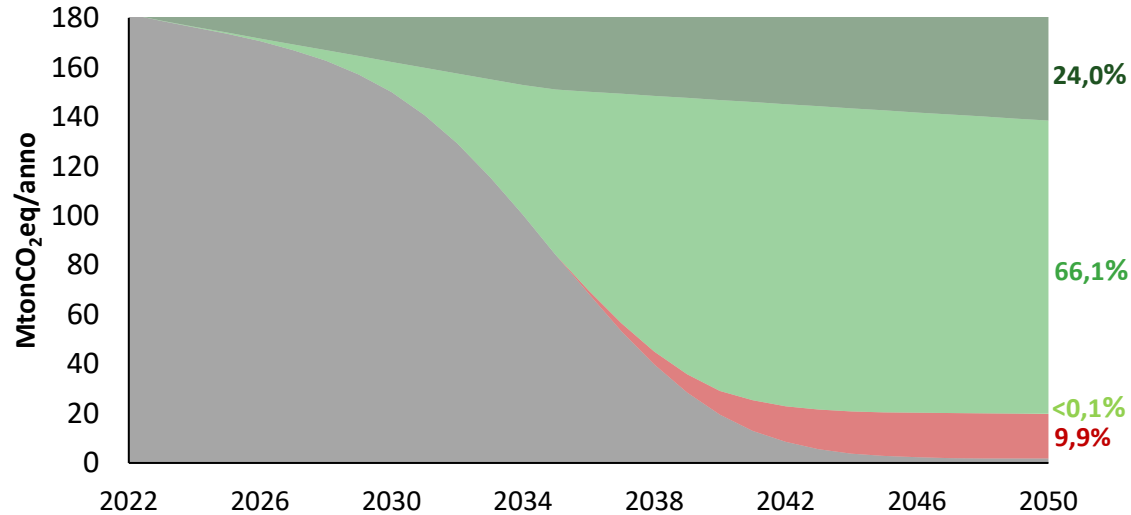
(\*) Nautical Miles (1NM = 1,852 km).

# Un diverso scenario possibile al 2050

## Il traguardo del Net-Zero al 2050... e le alternative a disposizione

- Mediante delle **forme di sostegno economico** allo sviluppo delle tecnologie **si renderebbe l'obiettivo di decarbonizzazione possibile al 2050**, con una riduzione delle emissioni (2022 vs. 2050) del 100%, principalmente grazie ai **new fuel (SAF)** e all'**efficientamento fuel & aircraft**.

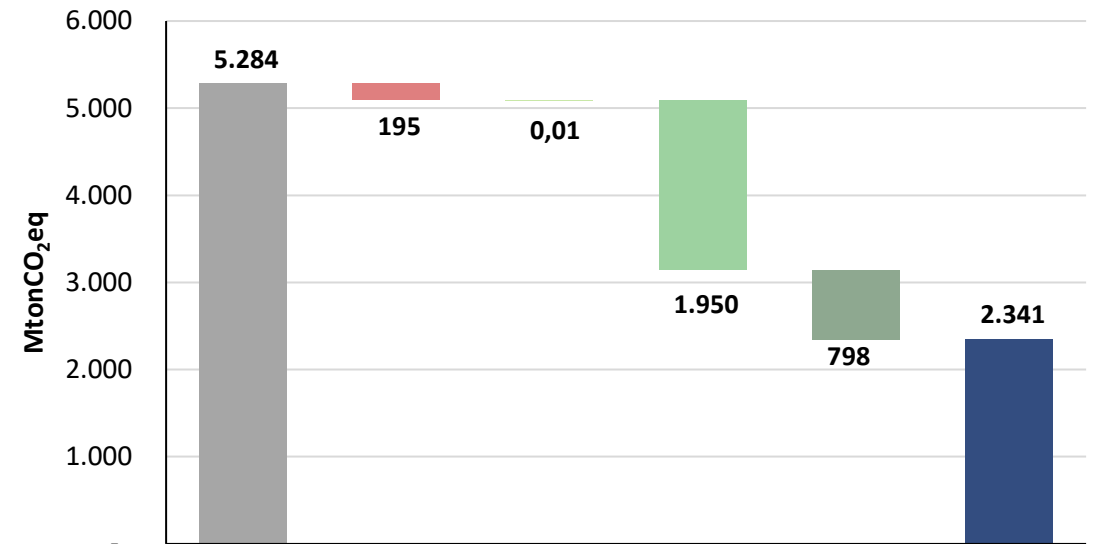
Andamento riduzione emissioni GHG



**LEGENDA**

- Cherosene
- Efficientamento Fuel & Aircraft
- New fuel
- Idrogeno Turbina
- Altro\*

Effetto cumulato riduzione emissioni GHG



**Nota:** Gli incentivi economici sono calcolati con una metodologia che permette di massimizzare l'effetto di decarbonizzazione del settore, secondo una logica di minimizzazione dell'impatto economico. Per tale motivo gli incentivi necessari stimati dal modello associati a e-fuels, idrogeno Fuel-Cells, all-electric risultano essere minoritari, difatti a parità di investimento non garantirebbero allo stato attuale delle conoscenze la medesima riduzione delle emissioni rispetto alle altre soluzioni valutate.

# Un diverso scenario possibile al 2050

## Sintesi degli investimenti e delle azioni da condurre

Carburanti e sistemi di propulsione alternativi	Disponibilità	Principali criticità	Investimenti per lo sviluppo e azioni da condurre
<b>Bio-fuel</b>	Adozione nel breve termine ed in crescita nel medio-lungo termine, in virtù di costi del carburante in progressiva riduzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mancanza di impianti produttivi per diffusione su larga scala</li> <li>• Disponibilità limitata «feedstock»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizzare nuovi impianti di produzione bio-fuel</li> <li>• Garantire approvvigionamento da «feedstock» sostenibili</li> </ul>
<b>E-fuel</b>	Presenza limitata sul mercato a partire dal 2035, a causa dei costi elevati della tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitato sviluppo tecnologico</li> <li>• Costi elevati per produzione e stoccaggio</li> <li>• Produzione idrogeno <i>green</i></li> <li>• Interventi di retrofit su flotta attuale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sviluppo della filiera produttiva e di stoccaggio</li> <li>• Supporto allo sviluppo di tecnologie per cattura della CO<sub>2</sub></li> <li>• Investimenti in R&amp;D</li> <li>• Sviluppo FER</li> </ul>
<b>Idrogeno</b>	Adozione a partire dal 2035, con una crescente disponibilità di idrogeno <i>green</i> e costi della tecnologia in riduzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzione idrogeno <i>green</i></li> <li>• Costi elevati per produzione e stoccaggio</li> <li>• Avanzamento tecnologico attualmente ridotto</li> <li>• Nuovo sistema di propulsione e/o retrofit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sviluppo filiera produttiva, trasporto e stoccaggio</li> <li>• Supporto allo sviluppo della tecnologia</li> <li>• Sviluppo FER</li> </ul>
<b>Batterie e Fuel cells</b>	Prime sperimentazioni avviate, messa in servizio primi voli prevista intorno al 2025 e limitata sul mercato fino al 2035 a causa dei costi elevati della tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitato sviluppo tecnologico</li> <li>• Costi elevati per adozione tecnologia</li> <li>• Produzione energia da FER</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supporto allo sviluppo della tecnologia</li> <li>• Sviluppo FER</li> </ul>

# Un diverso scenario possibile al 2050

## Le strategie per sostenere lo sviluppo tecnologico

- L'analisi, svolta con l'ausilio di curve di merito economico, non considera tuttavia il **possibile vincolo della disponibilità dei feedstock necessari** che si potrebbe presentare in futuro a valle della **massiccia adozione di tali soluzioni**.
- Sebbene l'**adozione di velivoli elettrici risulti oggi minoritaria**, sarà importante sostenerne gli sviluppi con **strumenti di sostegno che permettano di ridurre progressivamente il gap di convenienza economica** e favorirne così l'adozione tecnologica in futuro.
- Inoltre, sarà necessario perseguire una **molteplicità di strategie parallele** promuovendo (laddove possibile) (i) **uno shift modale** per il trasporto su ferro in **ambito short range**, (ii) prevedere l'adozione di **misure di efficientamento energetico** per le infrastrutture aeroportuali e (iii) sostenere l'adozione di **misure di compensazione** per la cattura della CO<sub>2</sub> (*carbon removal*).

# Sviluppo sostenibile e finanza sostenibile

- Fino all'inizio degli anni 2000 erano presi in esame puramente **aspetti di natura economica per la valutazione delle performance aziendali**. Tuttavia, in accordo con la tematica di sviluppo sostenibile e al fine di rendere quantificabile e misurabile il **livello di sostenibilità in ambito economico/finanziario**, a partire dal 2005, sono stati **introdotti nuovi criteri – di natura non finanziaria –** che hanno dimostrato una crescente attenzione verso aspetti per misurare l'impatto ambientale, il rispetto dei valori sociali e gli aspetti di buona gestione di una società: i **criteri ESG**.



## Il caso BlackRock

Blackrock nel 2020 ha di fatto dichiarato di scegliere per i propri investimenti **solo** aziende che scelgono di **migliorare il proprio impatto ambientale e di adottare governance attente alle tutele dei diritti del personale**. Per una realtà che gestisce risorse per oltre **6.500 miliardi di dollari**, arrivare a stilare una lista di **244 imprese** nel mondo che non stanno facendo abbastanza per contrastare il **climate-change** significa fornire indicazioni strategiche molto forti in direzione di politiche e progetti di tipo ESG.



POLITECNICO  
MILANO 1863



# La sostenibilità nel comparto del trasporto aereo

*La ricerca di Energy & Strategy – Politecnico di Milano*

**Davide Chiaroni**  
Politecnico di Milano

PATTO PER LA  
**DECARBONIZZAZIONE**  
DEL TRASPORTO **AEREO**



21 Settembre 2022

