

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

***Relazione per la prova finale***

***IL FUTURO DEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA  
NELLA TRANSIZIONE AD UN SISTEMA ENERGETICO  
SOSTENIBILE E COST-EFFECTIVE***

Tutor universitario: Prof. Rech Sergio

Laureando: *Casella Giorgio*

Padova, 20/11/2023

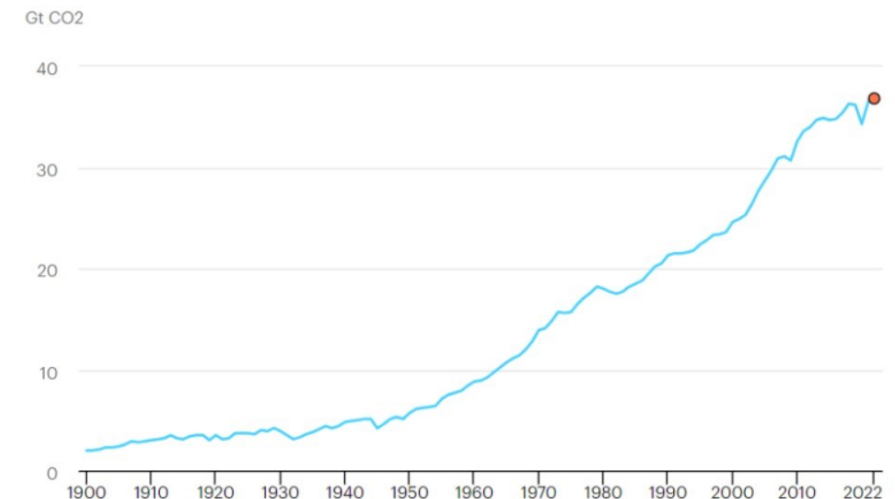
L'aumento nella concentrazione di gas ad effetto serra è la causa principale del tanto discusso **surriscaldamento globale**.

Nel **2022**, **36 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub>** da combustione di carburanti fossili

In relazione a tale fenomeno:

- **Green Deal Europeo (2019):**  
iniziativa con obiettivo **neutralità climatica entro il 2050**.  
Attraverso il pacchetto «**fit for 55**» permetterà unicamente  
l'immatricolazione di automobili a **0 emissioni** dal **2035**.
- **I trasporti sono responsabili del 14%** delle emissioni  
generali di **gas serra** a livello mondiale

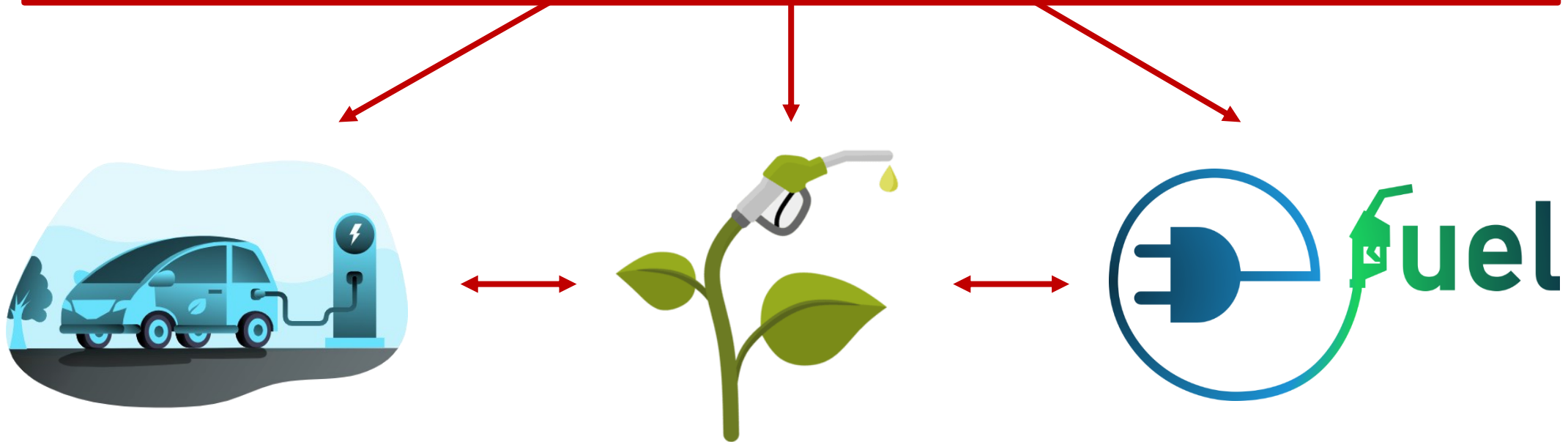
Global CO2 emissions from energy combustion and industrial processes,  
1900-2022



IEA, Licence: CC BY 4.0

L'obiettivo di questa tesi è quello di individuare le prospettive più convenienti e concretizzabili dei motori a combustione interna, confrontando diverse alternative secondo i parametri di costo, potenziale di riduzione delle emissioni e scalabilità della produzione.

Saranno confrontate la via dell'elettrificazione massiccia e quella dell'impiego di carburanti alternativi come biofuels ed e-fuels

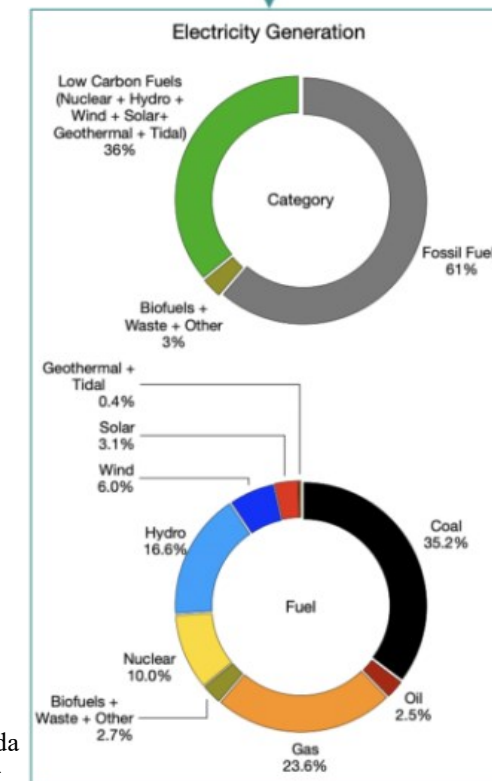
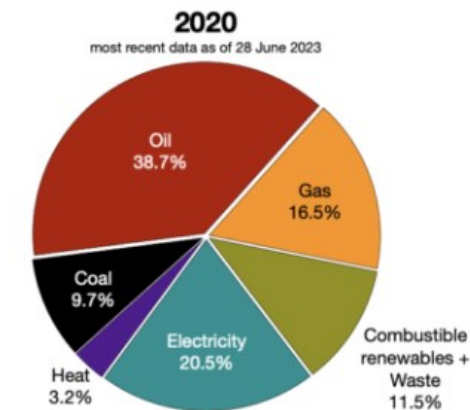




Soluzione che sembra ricevere il maggior **sostegno politico**.  
Ma presenta diverse criticità:

- La **riduzione nelle emissioni** è trattenuta al dalla manifattura e lo smaltimento delle **batterie** e dall'attuale **mix di fonti** per la produzione dell'elettricità
- fornitura delle **materie prime** (litio e cobalto), **smaltimento** delle batterie e scarsa distribuzione di **infrastrutture per la ricarica**
- Risulta essere generalmente **l'alternativa più costosa**, affermazione meglio dettagliata in seguito

Attualmente i veicoli elettrici (full electric) ricoprono il **15%** del mercato Europeo



Dati IEA raffigurati da  
Worldenergydata.org



I **biocombustibili** compongono il **5,6%** della vendita di carburanti in Europa e sono convertiti da **materiale organico** attraverso processi biochimici e/o termochimici.

- **Prima generazione:** provenienti dalla **filiere alimentare**, miglior sviluppo tecnologico ma la coltivazione implica alte richieste acqua e **compete con l'industria alimentare**.
- **Seconda generazione:** fonti **non commestibili**, rifiuti e scarti agricoli, presenti in impianti pilota ma il loro **approvvigionamento** rimane **incerto**.
- **Terza generazione:** prodotti attraverso oli estratti da **micro-alghe**, coltivati in stagni aperti o fotobioreattori chiusi con **rese molto elevate** per superficie di coltivazione occupata, **estremamente energivori**.
- **Quarta generazione:** prodotti tramite processi biologici sintetici operati da **micro-organismi geneticamente modificati**, ancora oggetto di ricerca.



www.dii.unipd.it





Principali tipi di biocombustibili adatti all'autotrasporto sono:

- **Bioetanolo**: prodotto attraverso **fermentazione** principalmente negli USA e in Brasile, è adatto all'utilizzo in motori ad **accensione comandata** [alto numero di **ottano**]
- **Biodiesel**: prodotto per **transesterificazione** di oli vegetali in EU o USA, è utilizzato da solo o miscelato con diesel fossile nei motori ad **accensione spontanea** [alto numero di **cetano**]

Alti biocombustibili: biogas, bio-metanolo, iso-butanolo



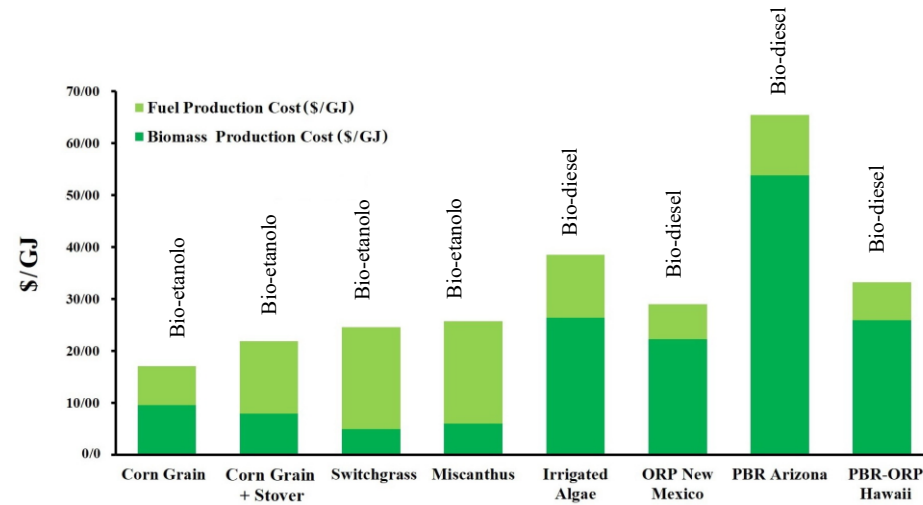
Impianto di produzione di biodiesel da oli vegetali Huelva (Spagna)



Impianto di produzione di bioetanolo da biomassa lignocellulosica a Crescentino (Vercelli)



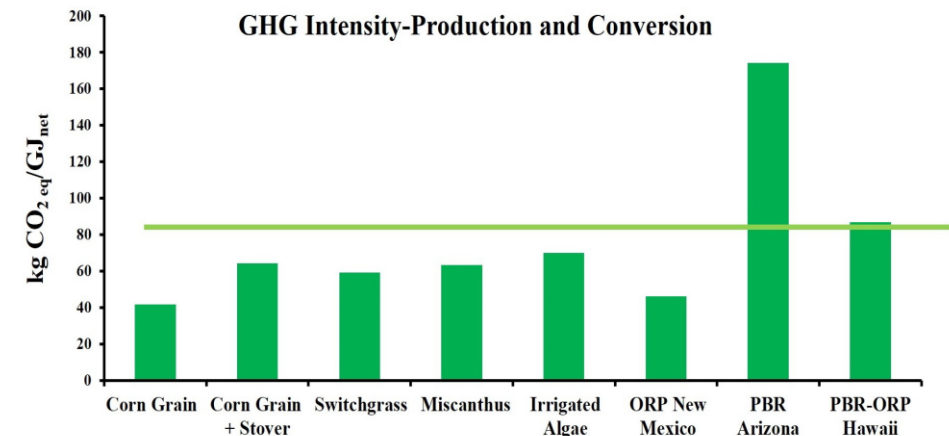
Uno studio condotto sui biocarburanti convenzionali ed emergenti, prodotto dalla collaborazione di due istituti universitari statunitensi, secondo un modello statico/algebrico, implementato con fogli di calcolo riporta che:



**Costi**

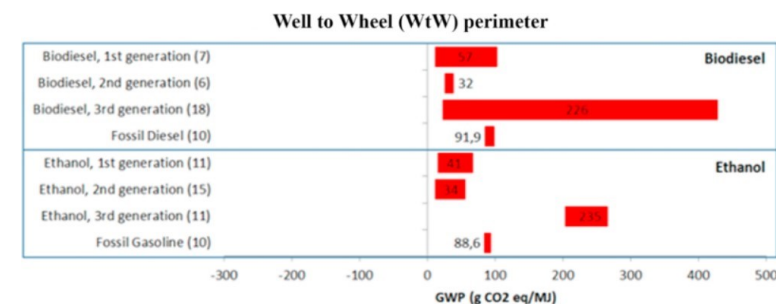
Confrontabili con i valori di letteratura di:

- 15 ai 44 €/GJ da biomassa
  - 14 ai 30 €/GJ da rifiuti
  - ~15 €/GJ biodiesel di 1° generazione
- confrontati con una recente gamma di prezzi dei carburanti fossili di 8-15 €/GJ



**Emissioni**

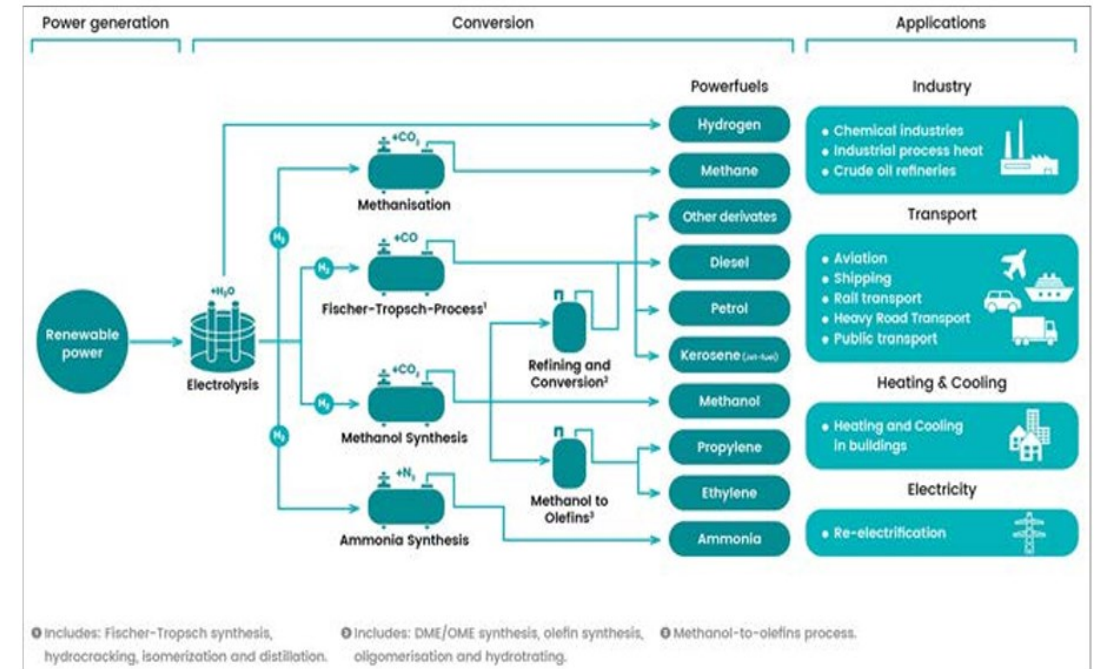
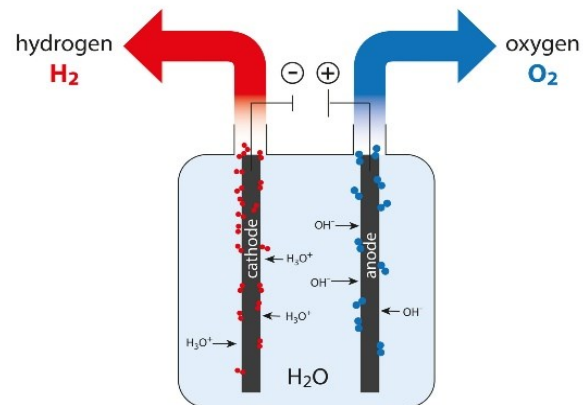
Confrontabili con i valori di letteratura di:



Gli **e-fuels** sono dei combustibili sintetici prodotti attraverso combinazioni diverse principalmente di **idrogeno** e **anidride carbonica**.

- **Idrogeno** prodotto da elettrolisi tramite elettricità **rinnovabile**.
- L'**anidride carbonica** è ottenuta da biomassa, processi industriali o **cattura dall'aria atmosferica**.
- **Diversi percorsi** possono essere intrapresi per la produzione di combustibili differenti
- Densità energetica molto elevata che li renderebbe particolarmente **adatti al settore del trasporto aereo e marittimo**

Al momento vi sono solo **poche decine impianti pilota** in tutto il mondo





I principali tipi di e-fuels sono:

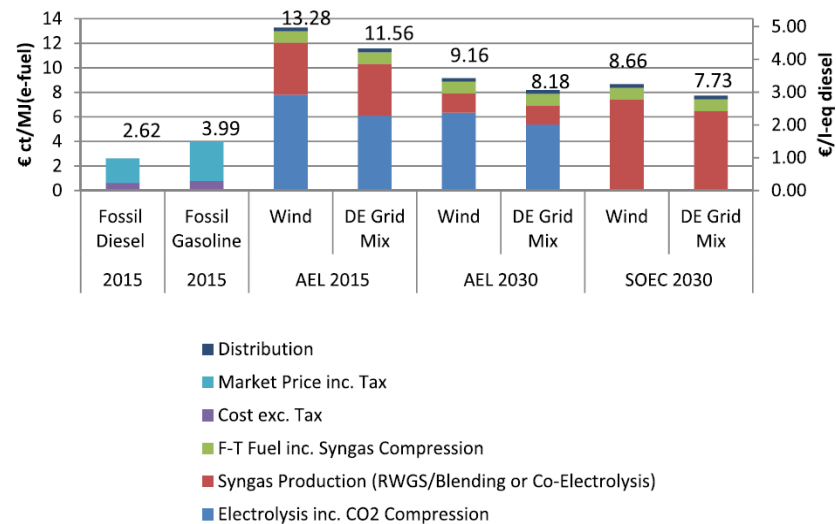
- **E-ammoniaca**: sintetizzata tramite il processo Haber-Bosch, impiegabile nel settore del trasporto **marittimo** dove sono implementabili sistemi di trattamento dei gas di scarico (riduzione **Nox**)
- **E-metanolo**: prodotto tramite diretta idrogenazione della  $CO_2$  o per RWGS; è impiegato in MCI ad accensione comandata per utilizzo **stradale**
- **E-diesel**: prodotto tramite processo Fischer-Tropsch; è impiegato in MCI ad accensione spontanea per utilizzo **stradale**
- **E-kerosene**: prodotto tramite processo Fischer-Tropsch è un **SAF** (Sustainable Aviation Fuel) utilizzabile singolarmente o in miscela

Altri e-fuel: idrogeno green, combustibili ossigenati, e-LNG



Impianto pilota "Haru Oni" di Porsche a Punta Arenas, in Cile, produzione di e-metanolo

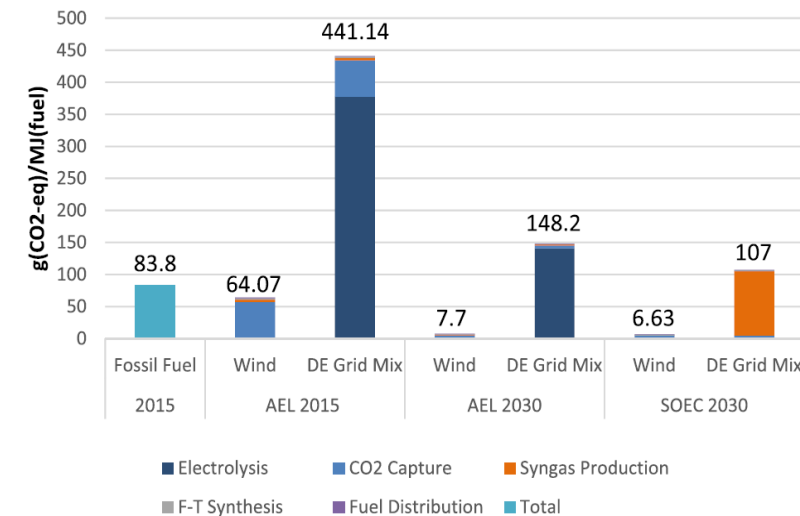
Secondo un documento prodotto dalla collaborazione dell'Università di Aquisgrana e la Ford Motor Company che fa riferimento ad un potenziale apparato produttivo di e-diesel situato in Germania emerge che:



## Costi

- Confrontabili con i valori di letteratura di:
- 1,34 €/l - 7,95 €/l per produzioni del 2015
  - 1,13 €/l - 3,51 €/l per previsioni al 2030

confrontati con una recente gamma di prezzi dei carburanti fossili già tassati di 1 – 2 €/l



## Emissioni

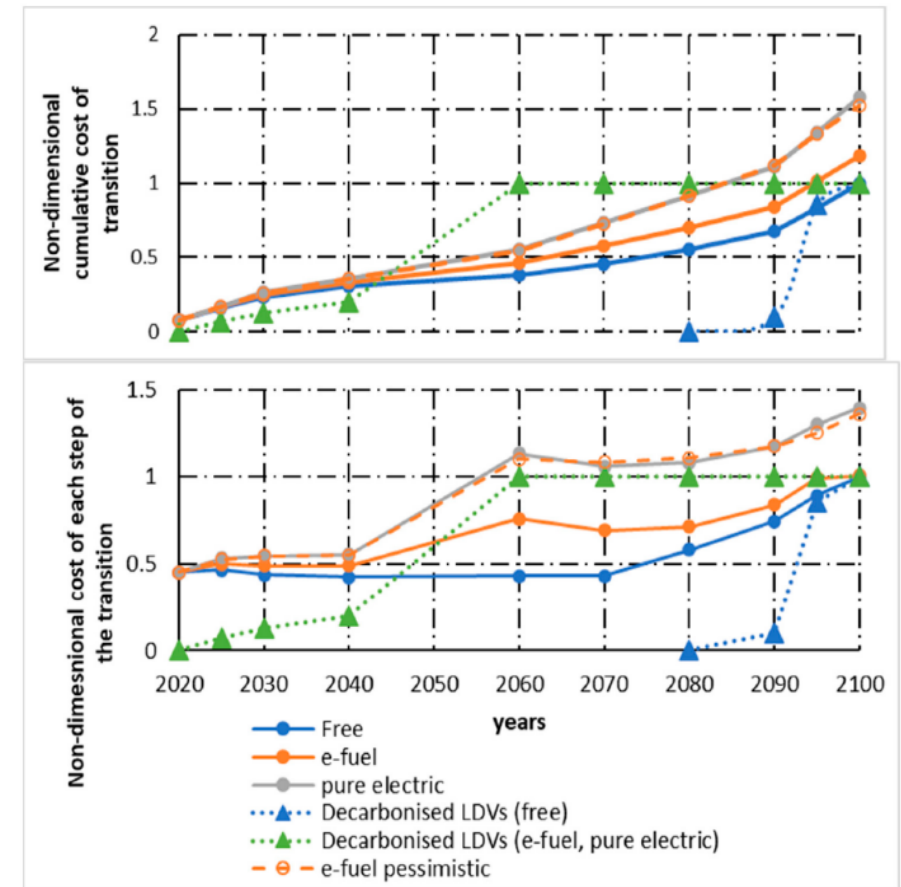
- Confrontabili con i valori di letteratura di:
- 1 - 30 gCO<sub>2eq</sub>/MJ per produzioni da fonti sostenibili

confrontati con le emissioni per l'attuale mix medio di carburanti fossili di 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ

Nella transizione ad un complesso energetico green, **quando** è più conveniente attuare la decarbonizzazione del sistema di trasporti? E qual è l'alternativa **complessivamente più economica**?

Secondo un **modello matematico** del sistema energetico Italiano elaborato dall'Università di Padova:

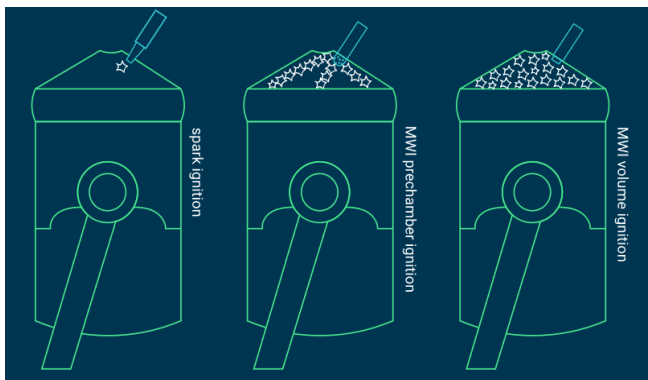
- La via **più economica** decarbonizza i trasporti attraverso **e-fuels** quando le rinnovabili superano uno share del **90%**
- La decarbonizzazione a partire dal 2035 attraverso l'utilizzo di **e-fuels** incrementa i costi generali del **20%**
- La decarbonizzazione a partire dal 2035 attraverso l'**elettrificazione** incrementa i costi generali del **60%**



Sono raffigurate alcune delle innovazioni tecniche che potrebbero migliorare le prestazioni di questa tecnologia. Raggiungere efficienze più elevate comporterebbe **riduzioni nelle emissioni e del costo a kilometro del combustibile**

Le novità includono cambiamenti modesti come **1) l'implementazione di candele (laser o a micro-onde)** che garantiscono una combustione più efficiente oppure **2) l'applicazione di bielle sdoppiate** in due elementi (Thunder Rod), ma anche totali ricostruzioni dell'assetto classico come **3) l'Astron Omega 1**.

1



2



3



Alternative:	Costi dell'energia meccanica [€/GJ <sub>Wheel</sub> ]	Potenziale di riduzione delle emissioni (% rispetto controparte fossile)	Criticità nella scalabilità della produzione
Combustibili fossili	34-65	0%	Produzione già scalata a livello mondiale
Elettrificazione	21	50-60%	Produzione di litio e cobalto; Smaltimento e riciclaggio; Infrastrutture di ricarica
Biocombustibili	65-191	~ 58%	competitività con industria alimentare; ingenti richieste d'acqua; cambio d'uso del suolo
e-fuels	156-930	68-98%	Fornitura d'acqua potabile

- Guardando ai **costi generali** l'elettrificazione dal 2035 implica un incremento del **60%** rispetto agli importi di una decarbonizzazione ritardata, mentre gli e-fuels del **20%** (**dati coerenti** con gli **investimenti** previsti dall'Unione Europea)
- Considerando solo fonti “verdi”, le **auto elettriche** raggiungerebbero fino **all'89%**

Si deduce dunque che:

- L'utilizzo di elettricità pulita rappresenta la meta finale per l'annullamento delle emissioni provenienti dal settore dei trasporti ma sarà **conveniente ed efficace** solamente nel momento in cui verrà **decarbonizzata in modo adeguato la produzione di energia**
- Le **numerose sfide** delle diverse alternative, verosimilmente ne renderanno **impossibile** la **diffusione rapida** su una **scala** tale da sostenere **assieme** la crescente domanda energetica del settore dei trasporti.

In conclusione, dunque, secondo la strada più **credibile e conveniente**, i MCI, alimentati principalmente da **combustibili fossili**, **continueranno a propellere la maggior parte dei trasporti per i prossimi decenni**, ma saranno importanti anche quando risulterà vantaggioso cominciare la decarbonizzazione attraverso i carburanti alternativi.

