

# BIOCARBURANTI ED ELETTROCARBURANTI

**Gianni Comini**

CISM - Dipartimento di Energia e Ambiente

Piazza Garibaldi 18 - 33100 Udine

*gianni.comini@cism.it*

2 maggio 2023

## 1 Premessa

Il 28 marzo 2023, a Bruxelles, i Ministri dell'Energia dell'Unione Europea hanno ratificato l'accordo sugli elettrocarburanti raggiunto nei giorni precedenti tra la Germania e la Commissione Europea, superando lo stallo normativo che si era creato per l'approvazione del divieto a vendere auto con motore endotermico dopo il 2035. A quel punto l'iter legislativo è ripartito nonostante le riserve dell'Italia che, nella revisione del regolamento già prevista per il 2026, intende insistere sulla sua proposta di consentire l'alimentazione delle auto con motore endotermico anche con i biocarburanti, oltre che con gli elettrocarburanti.

Peraltro, durante la discussione che ha preceduto l'approvazione del Regolamento Europeo, è apparsa evidente l'opportunità di precisare più chiaramente le differenze tra le diverse tipologie di biocarburanti ed elettrocarburanti. Per dar seguito a tale esigenza, qui si è rinunciato ad esaminare tutte le tecnologie di produzione disponibili ma, per brevità e maggior chiarezza, ci si è limitati ad analizzare le tecnologie più collaudate per la produzione di biodiesel, e la tecnologie in corso di sperimentazione per la produzione di elettrodiesel.

La giustificazione di tale scelta sta nelle quantità rilevate dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE): nel 2021, in Italia nel settore trasporti, sono state consumate 1,55 milioni di tonnellate di biocarburanti, costituite per l' 89% da biodiesel, per il 9% da biometano e per il 2% da bio-ETBE (etil-t-butil-etero). Nel 2021 non erano ancora disponibili gli elettrocarburanti, ma è ragionevole pensare che, al termine delle sperimentazioni in corso, la frazione di elettrocarburanti più consumata sarà quella dell'elettrodiesel.

Dopo aver esaminato le tecnologie si passerà alla discussione di "sostenibilità" delle diverse produzioni in quanto, al di là del Regolamento Europeo, non si può rinunciare alla valutazione delle conseguenze energetiche ed ambientali di decisioni che mirano a consentire, anche per la trazione automobilistica, l'utilizzazione illimitata di carburanti alternativi che, finora, si era pensato di riservare a settori difficilmente elettrificabili, come la propulsione navale ed aerea su lunghe distanze.

## 2 Biomasse e biodiesel

Nel linguaggio giuridico italiano, le biomasse sono definite “frazione biodegradabile di prodotti, rifiuti e residui biologici, sia vegetali sia animali, che provengono dall’agricoltura, dalla silvicoltura e dalla zootecnia”. Dal punto di vista tecnico, però, conviene pensare alle biomasse come a forme di accumulo dell’energia solare poiché, attraverso la fotosintesi, i vegetali convertono l’energia solare in energia chimica, e questa energia può essere utilizzata come tale nella combustione, può essere trasformata industrialmente (ad esempio nei biodiesel) o può entrare nella catena alimentare dando origine a reflui e residui biologici.

Da questo punto di vista, le biomasse e i loro derivati sono una fonte di energia rinnovabile purché, evidentemente, le formazioni vegetali di provenienza non siano sfruttate oltre la loro capacità di rigenerazione naturale. Tuttavia, ciò non significa che l’energia solare convertita in biomassa possa essere completamente utilizzata, perché gli aumenti della produttività agricola degli ultimi anni sono stati resi possibili dai consumi di energia fossile collegati alla sostituzione degli animali con trattori, all’impiego estensivo di fertilizzanti ed antiparassitari, ed alla meccanizzazione di tutte, o quasi, le fasi della coltivazione e della raccolta. Infatti, già il vantaggio energetico netto delle biomasse come tali è ben inferiore al 100% e se, in aggiunta, le biomasse sono utilizzate per la preparazione industriale dei biocarburanti occorre tener conto delle ulteriori ingenti quantità di energia necessarie a far funzionare le bioraffinerie e a rifornire i distributori stradali.

Analogamente, si può affermare che l’anidride carbonica generata dalla combustione di biomasse e biocarburanti è quella assorbita dalla fotosintesi dei vegetali di provenienza ma, durante la produzione di biomasse e biocarburanti, le emissioni di anidride carbonica collegate ai consumi di fonti fossili sono certamente state considerevoli e quindi il vantaggio netto è, ancora una volta, inferiore al 100%.

(Va anche detto che, soprattutto in passato, si sono verificate situazioni paradossali nelle quali le eccedenze agricole sono state destinate alla produzione di biocarburanti, con il risultato di assicurare vantaggi economici per i produttori, legati a rimborsi e sovvenzione, ma svantaggi ecologici legati a processi produttivi caratterizzati da bilanci negativi di energia e da emissioni di anidride carbonica superiori alle quantità catturate dall’atmosfera con la fotosintesi).

### 2.1 Produzione di biodiesel

Come si evince dalla ripartizione in Figura 1, il biodiesel consumato nel 2021 in Italia nel settore dei trasporti è stato pari a 1,388 milioni di tonnellate provenienti per l’ 87% da impianti di prima generazione e per il restante 8% da impianti di seconda generazione.

Gli impianti di prima generazione operano secondo il processo FAME (Fatty-Acid-Methyl-Ester), basato sulla “transesterificazione” con metanolo di oli vegetali provenienti da colture oleaginose dedicate (ad esempio: oli di palma, soia e girasole). Gli impianti di seconda generazione operano secondo il processo HVO (Hydrotreated-Vegetable-Oil, ovvero Olio Vegetale Idrotrattato), basato sulla transesterificazione con idrogeno (ovvero “idrogenazione”) di oli di scarto (prevalentemente oli da cucina usati). (Una nota metodologica: la riga nera nella Figura 1, rappresenta le 26.000 tonnellate di biopropano

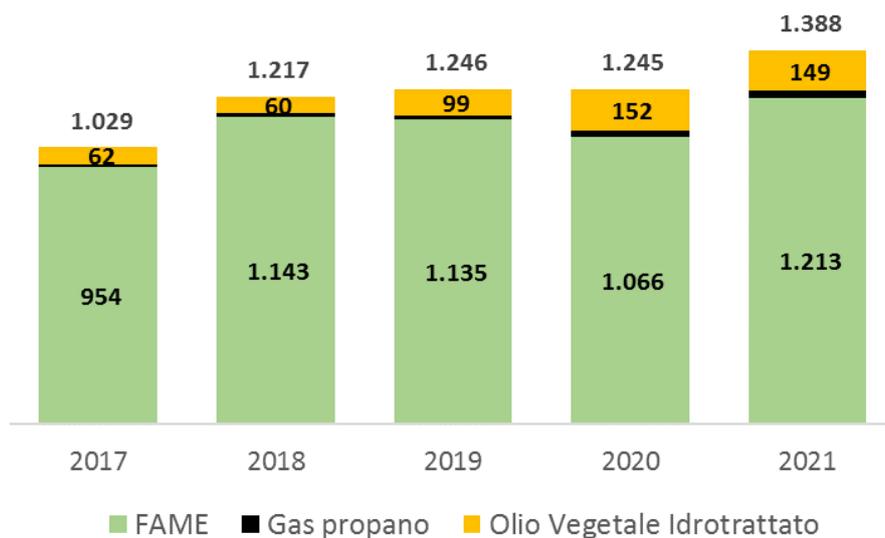


Figura 1: Biodiesel per autotrazione consumato negli ultimi anni in Italia. La frazione maggiore è rappresentata da biodiesel prodotto mediante il processo FAME, ma sta crescendo la percentuale di olio vegetale idrotrattato, ovvero biodiesel prodotto mediante il processo HVO che dà origine anche a propano [GSE].

prodotte all'anno, che non sono certamente biodiesel ma, provenendo dal processo HVO, sono contabilizzate da Eurostat con il biodiesel).

Numeri a parte, le considerazioni sopracitate risultano abbastanza oscure per i non-specialisti e, quindi, appare opportuno tradurle in schemi grafici meno precisi ma più comprensibili. Negli impianti che operano secondo il processo di prima generazione FAME, schematizzato nella Figura 2 a sinistra, il passo iniziale è l'estrazione dell'olio vegetale attraverso la spremitura dei semi oleosi. Dalla spremitura, si ricavano olio vegetale puro, adatto anche all'alimentazione umana, e una farina ad alto contenuto proteico, adatta alla alimentazione animale. L'olio vegetale puro è, a tutti gli effetti, un biocombustibile liquido e, come tale può essere utilizzato anche se, a causa della sua grande viscosità, non è adatto all'autotrazione.

Per avere un carburante derivato da colture oleaginose che sia utilizzabile nei comuni motori a ciclo Diesel, è necessario mescolare l'olio vegetale puro (chimicamente un trigliceride, ovvero un insieme di grandi molecole ciascuna formata da tre catene di acidi grassi unite alla base) con un alcol (generalmente il metanolo). In questo modo, nel processo FAME si realizza la "transesterificazione" ovvero la trasformazione, alla presenza di catalizzatori, di ogni molecola di trigliceride in tre molecole di "estere metilico" più una molecola del sottoprodotto glicerolo (ovvero glicerina). Le tre molecole di esteri metilici, evidentemente più piccole della singola molecola del trigliceride di partenza, vanno a formare il biodiesel, considerevolmente meno viscoso dell'olio vegetale, mentre le molecole di glicerolo, costituiscono un sottoprodotto organico convenientemente utilizzabile nelle industrie chimiche e farmaceutiche.

Allo stato attuale, la normativa europea EN590 stabilisce che il Diesel per autotrazione possa contenere al massimo il 7% di biodiesel proveniente dal processo FAME.

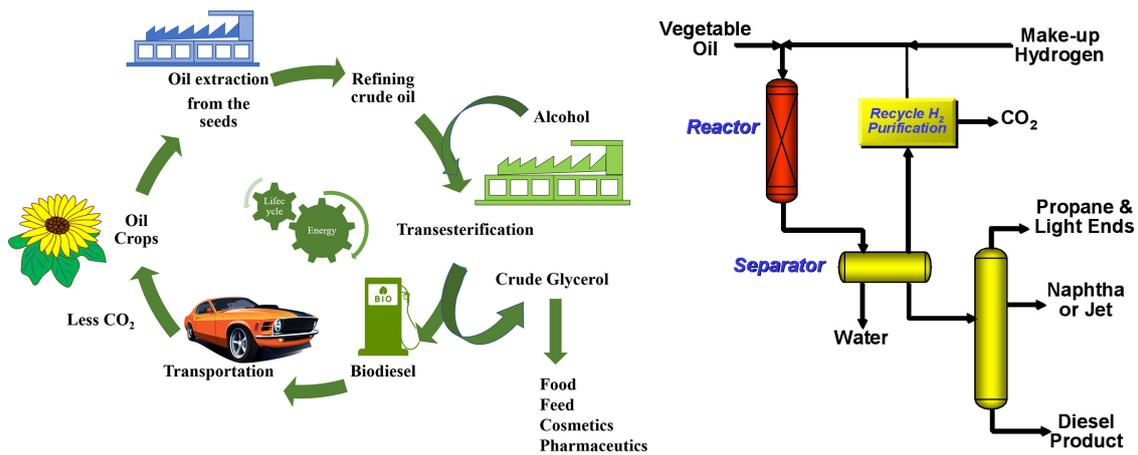


Figura 2: Produzione di biodiesel. A sinistra: schema degli impianti di prima generazione che operano secondo il processo FAME. A destra: schema degli impianti di seconda generazione che operano secondo il processo HVO [Public Domain].

Infatti, rispetto al gasolio “fossile”, il biodiesel FAME è meno stabile chimicamente, con la conseguente possibilità di intasamento dei filtri, ed è caratterizzato dalla presenza di circa il 10% di ossigeno, che a causa della sua forte affinità con l’acqua, può portare ad una eccessiva diluizione dell’olio lubrificante.

Per ovviare agli inconvenienti legati al biodiesel prodotto dagli impianti di prima generazione, si è passati agli impianti di seconda generazione, schematizzati nella Figura 2 a destra, nei quali la transesterificazione dei trigliceridi viene ottenuta impiegando idrogeno a temperatura e pressione elevate. Il prodotto così ottenuto è noto con il nome di HVO (Hydrotreated-Vegetable-Oil, ovvero Olio Vegetale Idrotrattato) e, nella versione Ecofining, sviluppata in Italia dall’ENI, impiega oli da cucina usati come materia di partenza.

L’utilizzo di idrogeno al posto del metanolo nella transesterificazione consente di rimuovere completamente l’ossigeno presente nell’olio vegetale (in quanto l’ossigeno dei trigliceridi si combina con l’idrogeno aggiunto generando acqua che, nella fase iniziale del processo viene facilmente separata e scaricata). Come si vede nella Figura 2 a destra, il mix di idrocarburi in uscita dal separatore dell’acqua viene inviato ad una colonna di distillazione dalla quale si estraggono in basso il biodiesel, che è il prodotto più denso, in mezzo il biocherosene, che ha una densità intermedia, e in alto il biopropano che è il prodotto più leggero. Tutti i prodotti finali di questo processo di seconda generazione sono chimicamente stabili ed hanno una composizione simile ai corrispondenti distillati del petrolio, al punto da poter essere mescolati con essi in qualsivoglia percentuale.

## 2.2 Limiti dei biocarburanti

I biocarburanti di prima generazione, ovvero prodotti con biomasse coltivate, sono fortemente penalizzati dalla bassissima efficienza del processo di fotosintesi. Infatti, il rapporto tra l’energia chimica prodotta dalla fotosintesi e la quantità di energia radiante solare ri-



Figura 3: Uso di suolo per produrre l'energia necessaria a soddisfare lo stesso chilometraggio. A sinistra: terreno completamente utilizzato per la coltivazione delle "materie prime" necessarie a produrre i biocarburanti per alimentare un motore a combustione interna. A destra: solo il 2,5% del terreno è occupato dai pannelli necessari a produrre l'energia fotovoltaica per alimentare un motore elettrico [T&E].

cevuta si colloca tra l'1 e il 2%. Dal punto di vista dell'occupazione di suolo, quindi, è molto più efficiente l'impiego di pannelli fotovoltaici, capaci di catturare l'energia solare e di trasformarla direttamente in energia elettrica con rendimenti che, nei pannelli di ultima generazione, superano agevolmente il 20%. L'efficienza energetica delle biomasse è quindi di oltre un ordine di grandezza inferiore a quella dei pannelli fotovoltaici.

Il rapporto delle efficienze peggiora ulteriormente se il confronto viene riferito alla trazione di veicoli terrestri e le alternative sono, da una parte, l'utilizzo di motori a combustione interna alimentati con biocarburanti prodotti a partire da biomasse e, dall'altra, l'utilizzo di motori elettrici che sfruttano l'energia fotovoltaica accumulata nelle batterie. Infatti, la produzione di biocarburanti a partire dalle biomasse coltivate ha un'efficienza non superiore al 50% e, per di più, i sistemi serbatoio - motore a combustione interna hanno rendimenti molto inferiori a quelli dei sistemi batteria - motore elettrico.

Un modo molto convincente per visualizzare quest'ultimo concetto è quello di fare riferimento, come in Figura 3, al rapporto tra i consumi di suolo necessari a far percorrere la stessa distanza a due veicoli terrestri utilizzando, in un caso, un motore a combustione interna alimentato con biocarburanti e, nell'altro, un motore elettrico che sfrutta l'energia fotovoltaica accumulata nelle batterie. Come si vede, la superficie necessaria alla trazione elettrica è circa 40 volte inferiore rispetto alla trazione con motore a combustione interna alimentato da biocarburanti.

Da considerazioni di questo tipo, si intuisce che la produzione dei biocarburanti di prima generazione richiede aree molto vaste che non sono più disponibili nei Paesi industrializzati. Infatti, la produzione delle biomasse per biocarburanti è stata, quasi sempre, delocalizzata nei Paesi in via di sviluppo, talvolta con esiti tragici in quanto, per esempio, ha portato alla distruzione di ampie zone delle foreste pluviali in Amazzonia e in Indonesia. Come conseguenza della deforestazione di aree molto delicate nei più importanti "polmoni verdi" del pianeta, le emissioni globali di anidride carbonica, anziché diminuire, sono considerevolmente aumentate a causa del ricorso ai biocarburanti.

Dal punto di vista delle emissioni di anidride carbonica, invece, va riconosciuto che il biodiesel di seconda generazione, prodotto a partire da materie prime di scarto, riduce dell'88% le emissioni di anidride carbonica rispetto all'utilizzo del diesel ottenuto dalla

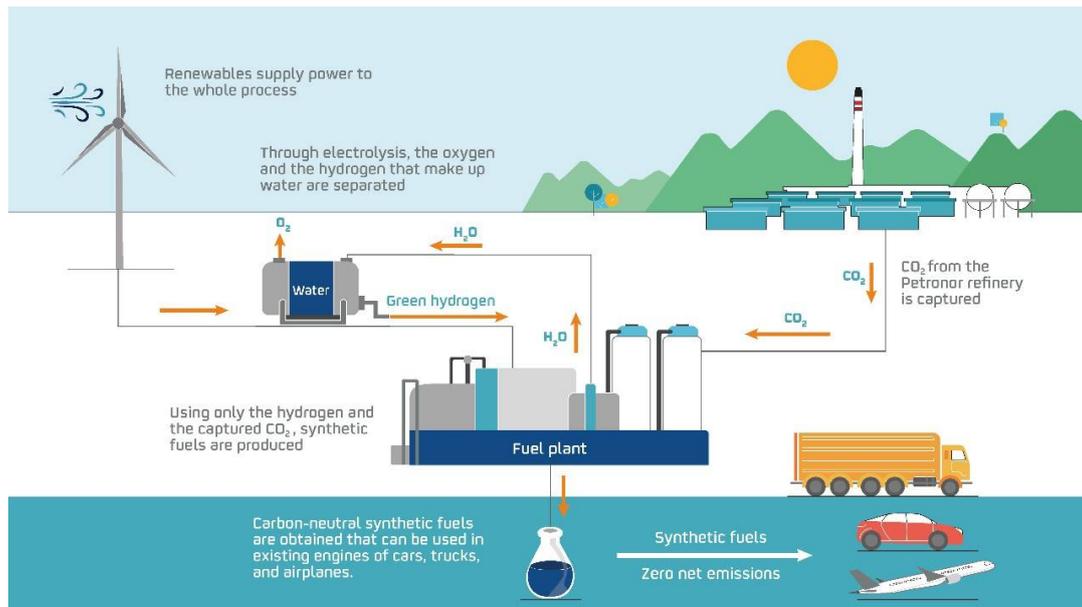


Figura 4: Schema del processo di produzione di carburanti sintetici nella raffineria Petronor, gestita in collaborazione con Repsol, a Muszik nei Paesi Baschi [Repsol].

raffinazione del petrolio greggio. Pertanto i 5 milioni di tonnellate di biodiesel di seconda generazione che l'ENI intende produrre e commercializzare entro il 2030 potrebbero alimentare circa 7 milioni di veicoli, pari al 20% del parco circolante italiano, con notevoli benefici ambientali. In questo caso, semmai, il problema è rappresentato dalla incerta disponibilità di materie prime come oli da cucina usati o, in alternativa, di “residui e rifiuti” che già ora vengono in gran parte importati.

Va comunque precisato che, anidride carbonica a parte, le emissioni inquinanti attribuibili ai biocarburanti non variano rispetto a quelle dei carburanti fossili corrispondenti e, di conseguenza, non ci si deve aspettare alcun beneficio per quanto riguarda, ad esempio, le emissioni di ossidi di azoto e particolato che sono tipiche dei motori ad accensione per compressione.

### 3 Produzione di elettrocarburanti

Gli elettrocarburanti sono idrocarburi di sintesi, ovvero composti di carbonio e idrogeno ottenuti combinando chimicamente idrogeno “verde” e anidride carbonica in processi simili a quello rappresentato nella Figura 4. In tali processi, l'elettrolisi separa l'acqua nei due elementi che la compongono: idrogeno e ossigeno. Per far sì che l'idrogeno meriti la qualifica di “verde”, però, l'energia elettrica utilizzata per l'elettrolisi deve essere generata senza emettere anidride carbonica nell'atmosfera, ovvero deve provenire da fonti rinnovabili, come eolico e fotovoltaico. Analogamente, l'anidride carbonica deve essere catturata direttamente dall'atmosfera o dai gas di scarico di un impianto evitando la sua immissione diretta nell'atmosfera.

Carbonio e idrogeno così ottenuti vengono fatti reagire in presenza di catalizzatori per ottenere una miscela di idrocarburi sintetici che hanno diverse densità. Da tale miscela, attraverso un processo di distillazione simile a quelli che hanno luogo nelle normali raffinerie, si ottengono le varie frazioni di carburante sintetico destinate a sostituire, in ordine di densità crescente: benzina, cherosene, gasolio e olio combustibile. Naturalmente, con una opportuna gestione del processo di distillazione frazionata, si possono ottenere quantità maggiori delle frazioni più pregiate, cioè di quelle a densità minore. Nel processo schematizzato nella Figura 4, ad esempio, non viene prodotto olio combustibile (che potrebbe essere utilizzato nei trasporti marittimi), mentre sono privilegiati l'elettrodiesel per i trasporti terrestri (auto e camion) e l'elettrocherosene per i trasporti aerei.

La composizione chimica dei carburanti sintetici è del tutto simile a quelle dei carburanti ottenuti dalla raffinazione del petrolio ma l'origine è diversa e, di conseguenza, si parla di elettrocarburanti per sottolineare l'importanza preminente dell'elettrolisi nel processo produttivo. Anche in questo caso, poi, va sottolineato che durante l'utilizzo nei motori endotermici gli elettrocarburanti riemettono nell'atmosfera soltanto l'anidride carbonica catturata durante la produzione degli elettrocarburanti stessi.

Naturalmente, anidride carbonica a parte, anche le emissioni inquinanti attribuibili agli elettrocarburanti sono le stesse di quelle attribuibili ai carburanti fossili corrispondenti e, con l'elettrodiesel in particolare, non ci si deve aspettare alcun beneficio per quanto riguarda le emissioni di ossidi di azoto e particolato che sono tipiche dei motori ad accensione per compressione.

### 3.1 Limiti degli elettrocarburanti

Il limite principale degli elettrocarburanti è la loro scarsa disponibilità, in quanto le stime più accreditate indicano che, al 2035 in Europa, saranno disponibili volumi capaci di alimentare appena 5 dei 287 milioni di veicoli circolanti (pari al 2% circa). Pertanto l'alimentazione con elettrocarburanti, del resto molto costosa, sarà riservata ad autovetture di fascia alta, come si può dedurre anche dal nome del principale sviluppatore Porsche che, nel 2021, ha aperto in Cile uno stabilimento con l'obiettivo di produrre, a regime, 550 milioni di litri di elettrocarburanti all'anno. In ogni caso, secondo Nature, l'alimentazione con elettrocarburanti non sarà espandibile a tutto il Mondo perché, agli attuali ritmi di aumento della domanda nei Paesi in via di sviluppo (Asia in particolare) e in assenza di divieti molto impopolari, si passerà da 1 miliardo di autovetture nel 2022 a 3 miliardi nel 2050.

Con numeri di questo tipo, è opportuno interrogarsi sugli impieghi di energia elettrica che fanno percorrere più chilometri e, almeno in questo caso, una risposta chiara viene dalle analisi di efficienza riportate nella Figura 5. Come si vede, lo stesso quantitativo di energia rinnovabile può essere utilizzato nella propulsione di autoveicoli appartenenti a diverse filiere caratterizzate da efficienze complessive diverse che variano tra:

- 77 e 81% con auto elettriche a batteria;
- 33 e 42% con auto elettriche dotate di celle a combustibile a idrogeno;
- 20 e 22% con auto ad accensione a compressione alimentate con elettrodiesel e

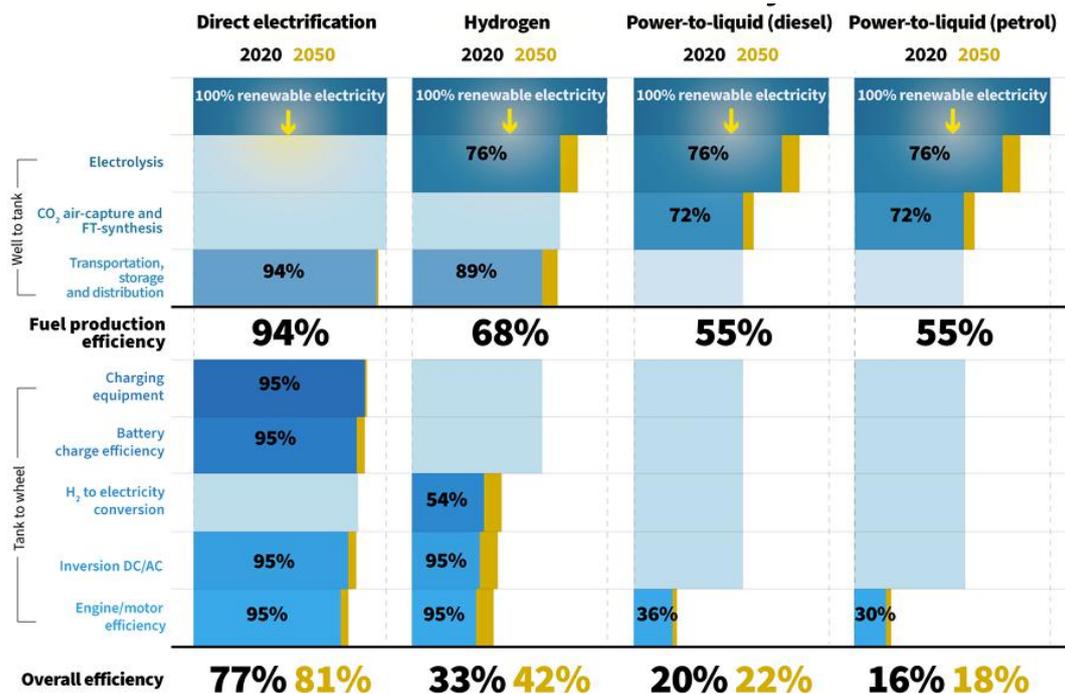


Figura 5: Efficienze complessive delle diverse soluzioni motoristiche [T&E].

- 16 e 18% con auto ad accensione per scintilla alimentate con benzina sintetica.

(La “forchetta” di valori all’interno di ogni filiera indica l’intervallo tra il valore minimo misurato nel 2020 e il massimo stimato per il 2050).

Dalla Figura 5 si evince chiaramente che, a causa della scarsità di risorse facilmente prevedibile per il futuro, la scelta è pressoché obbligata. Infatti, le auto elettriche a batteria, quasi cinque volte più efficienti delle auto alimentate con carburanti sintetici, consentirebbero a un numero cinque volte superiore di persone di godere dei benefici della mobilità autonoma.

## 4 Il futuro di biocarburanti e di elettrocarburanti

Quanto detto sinora non significa che, in futuro, non via siano spazi per i biocarburanti (sottinteso di seconda generazione) e per gli elettrocarburanti. Tuttavia, in un’ottica di ottimizzazione, questi vettori energetici dovranno essere prioritariamente impiegati per utilizzi nei quali non sono disponibili alternative tecnologiche a costi e impatti ambientali inferiori. In altre parole, biocarburanti ed elettrocarburanti vanno riservati al settori marittimo ed aereo (almeno per i viaggi su distanze lunghe).

D’altra parte, nella fase di transizione verso il sistema energetico del futuro, l’utilizzo di biocarburanti ed elettrocarburanti può consentire a diversi Paesi Europei, tra i quali l’Italia, di raggiungere l’obiettivo del 14% di energia rinnovabile nei trasporti terrestri entro il 2030 fissato dalla Commissione Europea nel RED II (Renewable Energy Directive

- 2018) riducendo, nel contempo, gli effetti negativi su investimenti che sono già stati fatti per il miglioramento degli autoveicoli con motori a combustione interna tradizionali.

Dal punto di vista ambientale, però, la fase di transizione dovrebbe essere accelerata dallo spostamento degli investimenti a fondo perduto che si fanno nel settore dei combustibili fossili (come, ad esempio, i sussidi per calmierare i prezzi di benzina e diesel) al settore delle energie rinnovabili. Per i trasporti su strada ciò consentirebbe, ad esempio, un miglioramento delle infrastrutture di ricarica e lo sviluppo di impianti per il riciclo dei materiali rari impiegati nei motori e nelle batterie delle auto elettriche.

Inoltre si dovrebbe impedire che le autovetture con motori endotermici, dismesse nei Paesi più industrializzati, fossero svendute ai Paesi in via di sviluppo con gran gioia dei Paesi produttori di petrolio. Alla fine sarà (purtroppo) necessario anche riconoscere che la tecnologia non potrà consentirci di usare le auto elettriche come adesso usiamo quelle con motore endotermico. Pertanto, saranno necessarie modifiche di comportamento e riqualificazioni dell'ambiente urbano al fine di rendere possibile camminare, pedalare e utilizzare i trasporti pubblici all'interno di città non completamente a misura di automobilista.

## Bibliografia

**H. Ababneh e B.H. Hameed**, *Electrofuels as emerging new green alternative fuel: A review of recent literature*, Energy Conversion and Management, vol. 254, 115213, 2022.

**N. Armaroli e al.**, *Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy*, MIMS - Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile, Aprile 2022.

**S. Brynolf e al.**, *Review of electrofuel feasibility—prospects for road, ocean, and air transport*, Progress in Energy, vol. 4, 042007, 2022.

**J. Calma**, *E-fuels could keep combustion engine cars on the road in the EU past its 2035 climate deadline*, [www.theverge.com](http://www.theverge.com), visto 11 aprile 2023.

**G. Comini, G. Croce e S. Savino**, *Energetica Generale, Quinta Edizione*, SGEEditoriali, Padova, 2011.

**G. Comini e M. Libralato**, *Verso una Nuova Energetica - Dalle Fonti Esauribili alla Decarbonizzazione*, [libreriauniversitaria.it](http://libreriauniversitaria.it) edizioni, Padova, 2022.

**Euractiv**, *Elettrocarburanti, il Parlamento Ue alza l'asticella nel tentativo di stimolare il mercato*, [euractiv.it](http://euractiv.it), visto il 7 aprile 2023.

**GSE - Gestore dei Servizi Energetici**, *Energia nel Settore dei Trasporti 2005-2021*, ottobre 2022.

**F. Long e al.**, *State-of-the-art technologies for biofuel production from triglycerides: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 148, 111269, 2021.

**Nature Editorial**, *Mobility's future must be electric*, Nature, vol. 616, p. 7, 6 aprile 2023.

**G. Pasini, G. Lutzemberger e L. Ferrari**, *Renewable Electricity for Decarbonisation of Road Transport: Batteries or E-Fuels?*, Batteries, vol. 9, 135, 2023.

**M. Prussi e al.**, *Comparing e-Fuels and Electrification for Decarbonization of Heavy-Duty Transports*, Energies, vol. 15, 8075, 2022.

**J. Ranganathan**, *How to Sustainably Feed 10 Billion People by 2050*, World Resources Institute, 5 dicembre 2018.

**S. S. Ravi e al.**, *On the pursuit of emissions-free clean mobility – Electric vehicles versus e-fuels*, Science of the Total Environment, vol. 875, 162688, 2023.

**R. P. Siegel**, *How Ecofining was born*, [www.eni.com](http://www.eni.com), visto il 13 aprile 2023.

**T&E Transport & Environment**, *Carburanti biologici e sintetici: tutto ciò che bisogna sapere*, [www.transportenvironment.org](http://www.transportenvironment.org), marzo 2023.

**M. Yugo e A. Soler**, *A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe: 2030-2050 (literature review)*, Concawe Review, vol. 28 (1), ottobre 2019.