

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

**LE AUTO DI DOMANI: NUOVE TECNOLOGIE DI
COMBUSTIBILI E BATTERIE PER LA MOBILITÀ**

Tutor Universitario: Professor Giorgio PAVESI

Nicolas Pagin

Matricola: 1168292

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Indice

Sommario	6
Introduzione	8
Capitolo 1: Emissioni nel settore dei trasporti	
1.1 Emissioni di CO ₂ nel settore dei trasporti dal 2000 al 2050	9
1.2 Confronto tra auto elettrica, benzina e diesel	12
Capitolo 2: Biocarburanti ed E – Fuels	
2.1 Bioetanolo	16
2.1.1 Prima generazione	17
2.1.2 Seconda generazione	18
2.1.3 Terza generazione	18
2.1.4 Nanomateriali	19
2.1.5 Bioetanolo nel trasporto	20
2.2 Biodiesel	21
2.2.1 Materie prime per la produzione	21
2.2.2 Prima generazione	22
2.2.3 Seconda generazione	22
2.2.4 Terza generazione	22
2.2.5 Tecniche di produzione	23
2.3 E – Fuels	24
2.3.1 Aspetti tecnologici	25
2.3.2 Valutazione economica	26
2.3.3 Valutazione ambientale	27
Capitolo 3: Batterie per veicoli elettrici ed utilizzo dei veicoli elettrici come accumulo domestico	
3.1 Mercato dei veicoli elettrici	28
3.2 Tipologia di Batterie più comuni nei veicoli elettrici	29
3.2.1 Piombo – Acido	30

3.2.2 Nichel metallo idrato	31
3.2.3 Ioni di litio	32
3.3 Veicoli a Celle a combustibile	33
3.3.1 L'utilizzo di idrogeno nei veicoli elettrici	33
3.3.2 Produzione di idrogeno per veicoli elettrici	34
3.3.3 Metodi di stoccaggio per l'idrogeno	35
3.4 Sistema Veichle – To – Home integrato con la generazione da fotovoltaico	35
3.4.1 Modello costi – benefici e HEMS	37
3.4.2 Strategia di programmazione per l'utilizzo dell'energia	38
3.4.3 Comportamento di viaggio	38
3.4.4 Tariffa HDPV e parametri di sistema	40
3.4.5 Uso efficiente dell'energia in modalità HDPV – V2H	41
3.4.6 L'impatto del V2H e del fotovoltaico sulla spesa annua netta per l'energia elettrica	41
Conclusione	42
Ringraziamenti	43
Riferimenti Bibliografici	44

Sommario

Con il mondo che emerge dalle restrizioni Covid-19, il settore dei trasporti ha portato a un balzo delle emissioni di CO₂ prodotte nel 2021 rispetto all'anno precedente. Il settore globale dei trasporti consuma oggi un quarto del consumo totale di energia finale ed è responsabile di quasi il 40% delle emissioni dei settori di uso finale. Il petrolio domina nel settore dei trasporti, rappresentando il 90% del consumo energetico. A causa dell'elevato tasso di inquinamento si stanno ricercando metodi alternativi di alimentazione per il trasporto di merci e persone come biocarburanti, carburanti sviluppati in laboratorio, idrogeno e mobilità elettrica. Questa relazione presenta vari tipi di carburante alternativo ai combustibili fossili, tipologie di accumulatori utilizzati nei veicoli elettrici per ottimizzare la mobilità elettrica, l'utilizzo dell'idrogeno per i veicoli elettrici e un'ulteriore approfondimento sull'utilizzo dell'auto elettrica come accumulo per l'abitazione abbinato ad un impianto fotovoltaico in modo da ridurre i costi dell'energia elettrica per le famiglie e l'impatto ambientale dovuto alla produzione di energia elettrica. L'obiettivo è di valutare le varie opportunità attualmente disponibili per riuscire a restare in linea con lo scenario "Net Zero Emission by 2050" sviluppato dall'agenzia internazionale dell'energia (IEA) in modo tale da stabilizzare l'aumento della temperatura media globale sotto 1.5°C, rispetto i valori preindustriali.

Introduzione

Questa relazione fornisce al lettore una visione panoramica dei vari tipi di combustibili e accumulatori per la mobilità elettrica.

La vastità dell'argomento e la natura della relazione non permettono un quadro approfondito di ogni aspetto trattato; per fonti più accurate si rimanda alle fonti citate.

Il Capitolo 1 prende in considerazione l'inquinamento misurato ai giorni d'oggi, l'obiettivo di ridurlo entro il 2050 e un rapido confronto tra i veicoli elettrici, benzina e diesel.

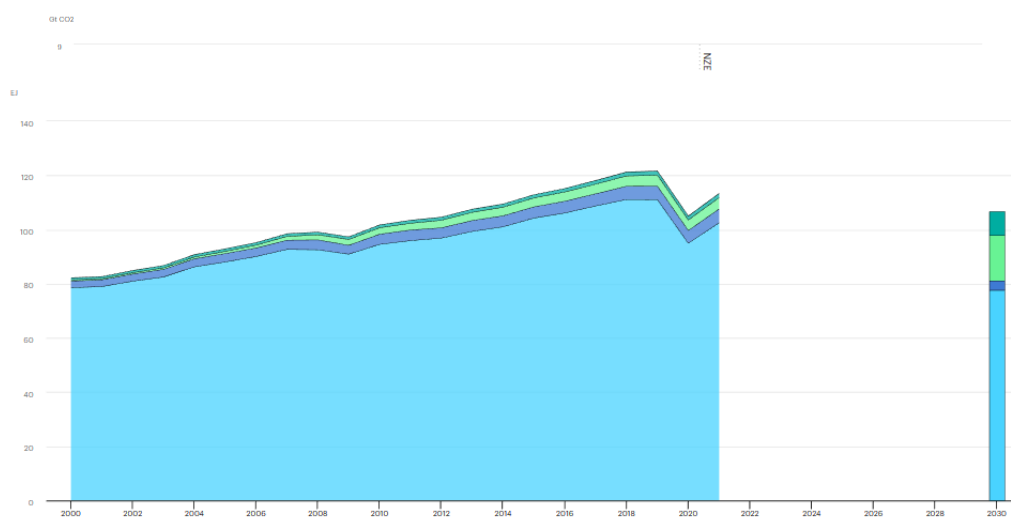
Il Capitolo 2 si basa sulle tecnologie e le materie prime per la produzione di biocarburanti come bioetanolo e biodiesel considerando anche le problematiche dovute al loro utilizzo e la produzione di E – fuels valutandone anche i costi odierni e futuri.

Il Capitolo 3 presenta le tipologie di accumulatori più utilizzati per le auto elettriche, valutandone i pro e i contro, accenna all'utilizzo di idrogeno per l'alimentazione dei veicoli elettrici considerando i vari aspetti dell'idrogeno come produzione stoccaggio ed impatto ambientale, e l'utilizzo dei veicoli elettrici come accumulo domestico integrato con il fotovoltaico.

Capitolo 1: Emissioni nel settore dei trasporti

1.1 Emissioni di CO₂ nel settore dei trasporti dal 2000 al 2050

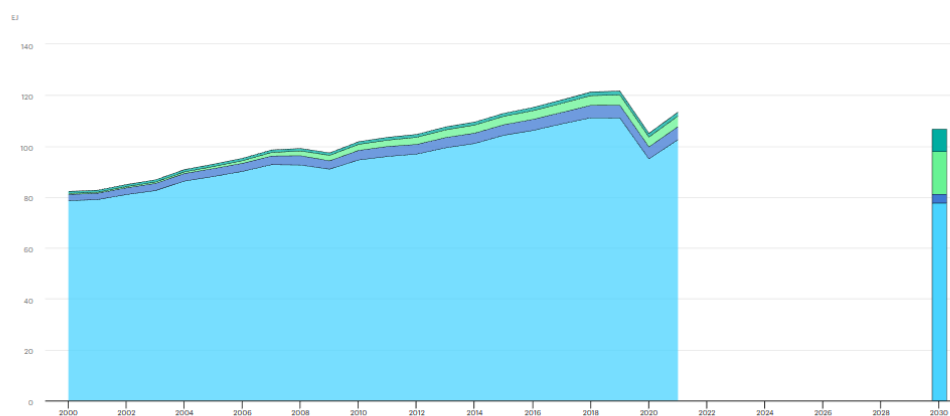
Con il mondo che emerge dalle restrizioni Covid-19, il settore dei trasporti ha portato a un balzo delle emissioni di CO₂ prodotte nel 2021 rispetto all'anno precedente dell'8%, da circa 7,1 Gt CO₂ a circa 7,7 Gt CO₂. Le emissioni nei trasporti sono cresciute a un tasso medio annuo di quasi l'1,7% dal 1990 al 2021, più velocemente di qualsiasi altro settore. Con la crescita prevista, seguire lo scenario “Net Zero Emission” richiede una diminuzione di circa il 20 %, scendendo sotto le 6 Gt CO₂ entro il 2030; il raggiungimento di questo obiettivo dipenderebbe dalla rapida elettrificazione dei veicoli stradali e dalla commercializzazione di carburanti a basse emissioni di CO₂. [1]



AIE, Licenza: CC BY 4.0

● Olio ● Gas naturale ● Biocarburanti ● Elettricità ● Altri

Emissioni globali di CO₂ prodotte dai trasporti nello scenario Net Zero 2000 – 2030 [2]



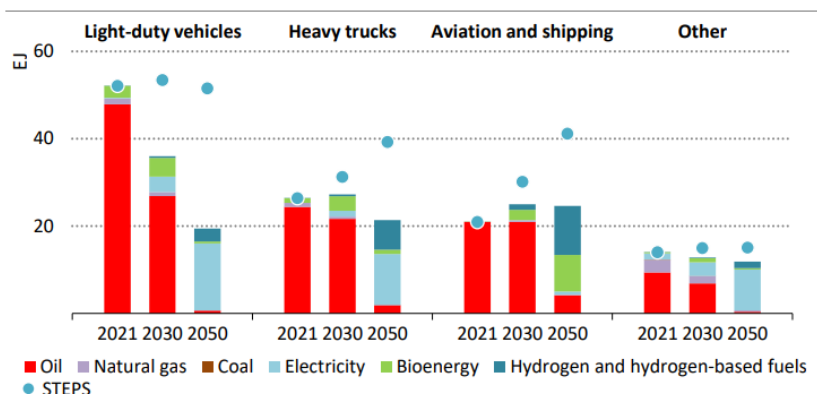
AIE, Licenza: CC BY 4.0

● Olio ● Gas naturale ● Biocarburanti ● Elettricità ● Altri

Consumo energetico nei trasporti per carburante nello scenario Net Zero 2000 – 2030 [3]

Scenario Net Zero Emissions by 2050 (NZE): questo scenario normativo definisce un percorso verso la stabilizzazione delle temperature medie globali a 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali.

Il settore globale dei trasporti consuma oggi un quarto del consumo totale di energia finale ed è responsabile di quasi il 40% delle emissioni dei settori di uso finale. Il petrolio domina nei trasporti, rappresentando il 90% del consumo energetico. Dal 2010 al 2019, l'aumento della domanda di mobilità di passeggeri e merci ha portato a registrare la maggior crescita di emissioni. Sia l'attività passeggeri che quella merci sono destinate a più che raddoppiare entro il 2050 nello scenario NZE, trainate da maggiori esigenze di mobilità nei mercati emergenti e nelle economie in via di sviluppo man mano che economia e popolazione crescono e gli standard di vita aumentano. La crescita della domanda di energia è mitigata nello scenario NZE da miglioramenti dell'efficienza tecnica e operativa in tutti i trasporti – stradale, aereo, marittimo e ferroviario – nonché dalla diffusione di veicoli altamente efficienti, vale a dire veicoli elettrici (EV), e da politiche volte a promuovere l'adeguamento modale e comportamentale. La decarbonizzazione nello scenario NZE dipende principalmente da due cambiamenti. Il primo è il passaggio all'elettricità, in particolare all'uso di veicoli elettrici e di veicoli elettrici a celle a combustibile a idrogeno nel trasporto su strada; il secondo è il passaggio sia alla miscelazione che all'uso diretto di combustibili a basse emissioni come i biocarburanti, l'idrogeno e i carburanti a base di idrogeno. Nello scenario NZE, la quota di petrolio nel consumo finale dei trasporti scende a circa il 75% entro il 2030 e al 10% entro il 2050. L'elettricità è il principale sostituto del petrolio, rappresentando quasi il 50% del consumo finale di energia dei trasporti entro il 2050, ma anche i carburanti a base di idrogeno (30% del consumo finale nel 2050) e i biocarburanti (quasi il 15%) svolgono un ruolo importante. I biocarburanti sono miscelati con altri carburanti in quantità crescenti nel trasporto su strada fino al 2030.



Consumo finale di energia nei trasporti per fonte e modo nello scenario NZE, 2021-2050

L'uso diretto dell'idrogeno e dei combustibili sintetici a basse emissioni aumenta rapidamente per soddisfare la domanda nel trasporto a lunga distanza. Nonostante i costi elevati di questi vettori energetici e le considerevoli perdite di energia subite nella loro produzione, l'idrogeno e i combustibili sintetici a basse emissioni svolgono un ruolo fondamentale nella riduzione delle emissioni di carbonio. A livello globale, i veicoli stradali hanno emesso 5,9 Gt di CO₂ nel 2021, più dell'intera emissione di carbonio legata all'energia del Nord America. I prodotti petroliferi hanno rappresentato circa il 90% del consumo energetico del trasporto su strada, con i biocarburanti e il gas naturale che rappresentano quasi tutta la domanda rimanente. La quota di elettricità nella domanda di trasporto su strada nel 2021 è stata inferiore all'1%. Nello scenario NZE, la quota di prodotti petroliferi nella domanda di trasporto su strada scenderà del 75% entro il 2030, con l'elettricità che rappresenta il 10%, i biocarburanti per oltre il 10% e idrogeno, combustibili a base di idrogeno e gas naturale per il resto. Le nuove vendite di automobili con motore a combustione interna (MCI) termineranno entro il 2035, gli autobus urbani entro il 2040 e le vendite di veicoli pesanti cesseranno entro il 2045. I veicoli elettrici offrono la tecnologia a basse emissioni più economica nella maggior parte dei segmenti sia a breve che a lungo termine e arrivano a dominare nel trasporto su strada. Entro il 2030, il 60% di tutte le vendite di auto nuove sono elettriche, ma i veicoli MCI rappresentano ancora quasi l'80% dello stock di auto, quindi, i miglioramenti nel risparmio di carburante rimangono di fondamentale importanza. L'elettificazione dei veicoli pesanti procede a un ritmo più lento, con i veicoli elettrici che rappresentano quasi il 30% delle vendite entro il 2030. Anche l'idrogeno svolge un ruolo, principalmente per i camion pesanti a lunga distanza. La rapida diffusione delle infrastrutture di ricarica è essenziale per sostenere il passaggio ai veicoli elettrici. Nello scenario NZE, circa 35 miliardi di dollari di investimenti vanno a sostenere i caricabatterie pubblici per veicoli elettrici ogni anno in media dal 2022 al 2030 e vengono compiuti sforzi anche per aumentare la disponibilità di stazioni di rifornimento di idrogeno in luoghi adatti per l'autotrasporto a lunga distanza come gli hub industriali. Ciò richiede di affrontare le carenze di finanziamento esistenti nei mercati emergenti e nelle economie in via di sviluppo per la realizzazione di infrastrutture di ricarica. Entro il 2050, il settore del trasporto su strada sarà quasi interamente decarbonizzato. Le emissioni residue ammontano a circa 200 Mt CO₂ (3% delle emissioni del 2021) e sono tutte attribuibili al consumo di prodotti petroliferi nei restanti camion pesanti MCI su strada. L'elettricità è il principale combustibile per il trasporto su strada, rappresentando oltre i due terzi del consumo totale di energia e quasi il 90% dell'attività stradale totale entro il 2050. Anche l'idrogeno svolge un ruolo importante ed è responsabile di quasi un quarto del consumo energetico nel settore [4]

1.2 Confronto tra auto elettrica, benzina e diesel

Confrontiamo 3 vetture di medie dimensioni elettrica, benzina e diesel per l'utilizzo urbano e valutiamo l'impatto del ciclo di vita. Quando si confrontano veicoli diversi, è fondamentale selezionare veicoli che offrano il più possibile gli stessi servizi, il segmento di mercato ha poca influenza sul confronto ambientale tra auto elettriche, diesel e benzina. Per questo motivo, l'analisi sviluppata nel presente lavoro si è concentrata sulle 3 versioni – elettrica, benzina e diesel – della Golf (Volkswagen), il veicolo più venduto in Europa nel 2016, 2017 e 2018. Inoltre, è uno dei pochi modelli di auto venduti nelle tre versioni (elettrica, diesel e benzina), quindi è paragonabile alle principali caratteristiche tecniche (potenza, velocità e coppia massima), comfort ed estetica. In altre parole, ad eccezione dell'autonomia, i tre modelli offrono un servizio simile all'utente. Le prestazioni dei veicoli sono valutate sulla base del ciclo di guida urbano, poiché i veicoli elettrici sono caratterizzati da emissioni locali quasi nulle ed è nel contesto urbano che i benefici del trasporto elettrico sarebbero più significativi (e dove il problema della qualità dell'aria è più serio). Inoltre, l'autonomia limitata dei veicoli elettrici, che è considerata una delle barriere all'accettazione della mobilità elettrica, può essere trascurabile nei viaggi urbani e suburbani. Per quanto riguarda la comparabilità dei veicoli (ovvero la capacità di offrire gli stessi servizi), va notato che una parte consistente dei conducenti italiani potrebbe passare dai veicoli convenzionali (combustione interna) ai veicoli elettrici, sfruttando la ricarica notturna, senza dover modificare sostanzialmente la propria quotidianità. Per la selezione dei dati, si ipotizza che la fase di utilizzo dei veicoli avvenga in Italia, così come la manutenzione e la fine vita dei veicoli e della batteria agli ioni di litio (Li-ion).

Model	Fuel	Vehicle weight (kg) ^a	Battery weight (kg)	Max engine power (kw)	Max torque (Nm)	Urban range (km)	Urban fuel consumption ^b
Volkswagen e-Golf 2016	Electricity	1249	318	100	290	201	16.8
Volkswagen Golf TSI 1, 8 L, 4 cylinder	Gasoline	1344	—	125	270 @ 1600	531	9.4
Volkswagen Golf TDI 2, 0 L, 4 cylinder	Diesel	1397	—	110	320 @ 1750	637	7.8
Data source	—	c	c	c	c	d	d

^aVehicle weight, without passengers and load (curb weight); for the electric vehicle, battery weight is excluded.

^bExpressed in kWh/100 km for the electric vehicle and in l/100 km for petrol- and diesel-fueled vehicles.

^cVolkswagen; Wolfsburg (DE).

^dUSEPA 2016.

Alcune caratteristiche per il confronto dei veicoli

Ci sono tre aspetti che sono rilevanti: l'intero chilometraggio del ciclo di vita del veicolo, il tipo e la quantità del materiale utilizzato per costruire il veicolo e il luogo in cui il veicolo (e la batteria nel caso del veicolo elettrico) è costruito. Il chilometraggio percorso durante la vita del veicolo gioca un ruolo importante nella LCA di un veicolo perché una parte rilevante delle emissioni totali è dovuta ai materiali e alla produzione del veicolo. Il chilometraggio utilizzato in questo documento è mostrato nella tabella e dipende dal tipo di carburante utilizzato dal veicolo e dal segmento di mercato.

Model	Fuel	Lifetime mileage (km)
e-Golf (Volkswagen) 2016	Electricity	230 000
Golf TSI 1 (Volkswagen), 8 L, 4 cylinder	Gasoline	210 000
Golf TDI 2 (Volkswagen), 0 L, 4 cylinder	Diesel	240 000

Vita utile stimata in percorrenza dei veicoli in esame

Un altro fattore importante per il ciclo di vita dei veicoli elettrici è la durata prevista della batteria. Vengono fatte molte ipotesi diverse sulla durata della batteria e sul conseguente numero di sostituzioni della batteria durante la vita del veicolo che è molto al di sotto della garanzia di diversi produttori (100000 miglia o ~ 160000 km). Inoltre, questi lavori non forniscono alcuna prova scientifica che incoraggi a supporre che la durata della batteria sia limitata a 100000 o 150000 km. Il numero limitato di studi aggiornati sull'invecchiamento delle batterie agli ioni di litio sembra indicare che, allo stato attuale, la fine vita delle batterie dei veicoli elettrici (cioè quando hanno perso il 20%-30% della loro capacità) potrebbe essere ragionevolmente fissata a 200000 km. Per quanto riguarda la fase di utilizzo, le prestazioni dei veicoli sono valutate sulla base di un ciclo di guida urbano poiché, nella misura in cui i veicoli elettrici sono caratterizzati da emissioni nulle, ed è nel contesto urbano che i benefici dell'elettrificazione dei trasporti sarebbero più significativi. Si presume che la fase di utilizzo avvenga in un'area urbana italiana. Il consumo di energia nella fase di utilizzo dei veicoli deriva dai dati dell'Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti al fine di avere una fonte di dati omogenea, affidabile e imparziale. Inoltre, per quanto ne sappiamo, non esiste una banca dati europea disponibile al pubblico sul consumo di carburante delle automobili che consenta di distinguere tra consumo di carburante del ciclo di guida urbano e rurale. I dati europei disponibili si riferiscono ancora al New European Driving Cycle che sottostima il consumo di energia, almeno per gli MCI (Fontaras et al. 2017). Per le emissioni di scarico da MCI, i principali fattori di emissione sono

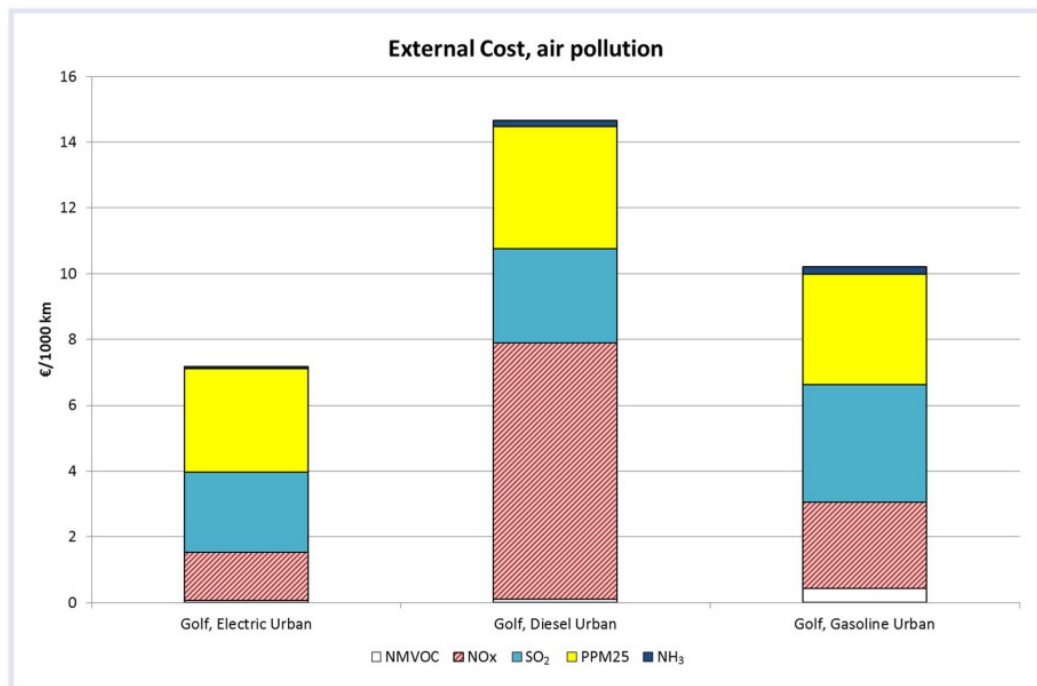
quelli utilizzati per l'Inventario Italiano delle Emissioni (ISPRA 2016). Per quanto riguarda le emissioni non di scarico (emissioni fini dovuti a pneumatici, freni e abrasione stradale), sono state modellate sulla base del peso dei veicoli. Per quanto riguarda le emissioni di usura dei freni dei veicoli elettrici, consideriamo solo il 20% della quantità calcolata in base al peso, dovuta all'uso della frenata rigenerativa. Vale la pena sottolineare che la fase di utilizzo include la manutenzione che, naturalmente, si verifica dove si suppone che i veicoli siano utilizzati. La produzione del vettore energetico utilizzato da ciascun veicolo (la cosiddetta fase well-to-tank) ha un ruolo rilevante nella LCA del veicolo. I fattori di emissione per le emissioni inquinanti regolamentate (CO₂, NO_x, SO₂, particolato) delle centrali termoelettriche derivano dalle dichiarazioni annuali delle centrali registrate dello Schema Italiano di Ecogestione. Per quanto riguarda il riferimento geografico, la produzione di energia elettrica avviene in Italia, ad eccezione dell'importazione di energia elettrica che si trova in Europa. Per i veicoli tradizionali, l'upstream dei combustibili fossili, il mix di importazione di petrolio greggio utilizzato si riferisce al mix effettivo pubblicato dal governo italiano (Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione Generale Risorse Minerarie ed Energetiche 2015; Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione Generale Sicurezza, Approvvigionamento Energetico e Infrastrutture 2016) nonché il gas naturale utilizzato nelle centrali elettriche italiane.

La metodologia utilizzata per valutare i costi esterni si basa sulla metodologia NEEDS che fornisce fattori di danno (espressi in €/t di inquinanti emessi) per la valutazione dei danni alla salute umana e all'ambiente causati da inquinanti atmosferici locali e regionali, ammoniacca (NH₃), NO_x, composti organici volatili non metanici (COVNM), PM_{2.5}, anidride solforosa (SO₂) e dai cambiamenti climatici (espressi come biossido di carbonio equivalente, CO₂eq). La quantità di emissioni è presa in considerazione nell'ambito della modellazione della dispersione che consente la creazione di matrici di recettori sorgente e, attraverso l'uso di funzioni di risposta di concentrazione e dati sulla popolazione esposta, consente la valutazione dei costi dei danni. I costi medi dei danni dell'Unione europea sono stati trasferiti ai paesi utilizzando la seguente

$$\text{equazione: } V_{pt} = V_{s2017} \left(\frac{Y_{pt}}{Y_{s2017}} \right)^\varepsilon$$

dove V_{pt} è il valore nel sito di utilizzo nell'anno t , V_{s2017} è il valore nel sito di studio (cioè l'anno a cui si riferiscono i valori da trasferire), ε è l'elasticità al reddito del WTP per il bene il cui valore deve essere trasferito, Y_{pt} è il prodotto interno lordo pro capite (un proxy del reddito pro capite) espresso in PPA del sito della polizza nell'anno t (valori costanti), e Y_{s2017} è il PIL pro capite PPA del sito di studio.

Per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico, il veicolo elettrico ha emissioni inferiori per tutte le emissioni considerate ad eccezione dell' SO_2 , ciò è dovuto alle rilevanti emissioni associate alla costruzione (e al relativo consumo energetico) del veicolo elettrico e alla produzione di elettricità per la ricarica delle batterie. Vale la pena sottolineare che le emissioni di SO_2 durante la fase di utilizzo sono trascurabili per tutti i veicoli analizzati. Le emissioni di $\text{PM}_{2,5}$ sono comparabili tra i veicoli e nella fase di utilizzo perché sono dovute principalmente all'abrasione di pneumatici, freni e condizioni della strada. Le esternalità di NO_x sono di gran lunga inferiori per i veicoli elettrici rispetto ai veicoli a benzina e diesel. Le emissioni di CO_2 sono apprezzabili solo per il veicolo a benzina. Considerando tutte le esternalità dell'inquinamento atmosferico insieme, l'EV si comporta meglio degli altri perché le sue esternalità di inquinamento atmosferico sono di circa 7 € / 1000 km, mentre per diesel e benzina, sono vicine rispettivamente a 15 € / 1000 km e 10 € / 1000 km. Se consideriamo solo le esternalità dovute all'inquinamento emesso in Italia, dove i veicoli sono utilizzati nel nostro scenario, il vantaggio di un EV è ancora più elevato perché le esternalità dell'inquinamento atmosferico dei veicoli diesel sono più del doppio di quelle del veicolo elettrico.



Costi esterni di inquinamento atmosferico per i 3 veicoli

Considerando le esternalità dovute ai cambiamenti climatici, ad esempio le emissioni di gas serra, l'EV è ancora una volta il più performante. I minori costi esterni delle emissioni di gas serra dei veicoli elettrici sono dovuti sia alla maggiore efficienza del percorso energetico sia al maggior utilizzo del gas naturale e delle rinnovabili nel mix energetico. Il veicolo diesel si comporta meglio del veicolo a benzina grazie alla maggiore efficienza.[5]

Capitolo 2: Biocarburanti ed E - Fuels

La spinta a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili negli ultimi anni ha focalizzato l'attenzione sull'uso di carburanti alternativi per i trasporti, adottando l'uso di biocarburanti miscelati con combustibili fossili. Se prodotti da materie prime con criteri di sostenibilità appropriati e con livelli di emissioni di gas serra ridotti durante la loro produzione, i biocarburanti possono contribuire a ridurre le emissioni di inquinanti nel settore dei trasporti su strada, che, a livello globale, dipende per oltre il 90% dal petrolio. Attraverso la loro miscibilità con benzina convenzionale e carburanti diesel, bioetanolo e biodiesel sono stati introdotti nel carburante tradizionale in quantità significative. L'uso di questi carburanti alternativi è stato possibile senza un cambiamento radicale dell'infrastruttura di distribuzione o nella tecnologia dei veicoli in cui vengono utilizzati, l'adozione di combustibili alternativi potrebbe costituire un percorso più stabile rispetto all'elettrificazione per affrontare il cambiamento climatico.[6]

I due principali sostituti diretti del carburante sono l'etanolo e il biodiesel. Possono essere miscelati con benzina e diesel, rispettivamente o usati puramente. Tuttavia, le miscele di alto livello richiedono alcune modifiche dei motori e delle loro tubature a causa delle diverse caratteristiche dei biocarburanti rispetto a benzina e diesel. L'uso dei biocarburanti è principalmente in miscela.

2.1 Bioetanolo

Il bioetanolo è un biocarburante rinnovabile e il suo uso è quasi neutro in termini di emissioni di gas serra. Durante la sua combustione, viene rilasciata solo la CO₂ precedentemente assorbita; tuttavia, dovrebbero essere prese in considerazione le emissioni di CO₂ durante l'intero processo (ad esempio semina, raccolta, lavorazione, trasporto). Un altro vantaggio dell'etanolo è la sua tecnologia matura, sia i processi di macinazione a secco che quelli a umido sono sicuri ed efficienti. Inoltre, il numero di ottani è superiore a quello della benzina tradizionale; pertanto, può essere utilizzato per incrementare il numero di ottani. La questione più importante della produzione di etanolo è la materia prima. La produzione attuale è dominata dall'etanolo di prima generazione, che solleva il dibattito su "cibo contro carburante". Le principali materie prime sono il mais e la canna da zucchero che possono essere utilizzati anche per il consumo umano. Le materie prime non alimentari vengono utilizzate per la produzione di etanolo avanzato (2^a - 4^a generazione) insieme a un bilancio di CO₂ ancora migliore (neutro o addirittura negativo). La miscelazione di etanolo con carburante fino al 10% non richiede modifiche sui nuovi veicoli; invece, se superiori al 30% richiedono veicoli con apposite modifiche.

Generazione	Materia prima	Metodo di produzione	Bilancio CO ₂
1	Frumento, mais, barbabietola da zucchero, canna da zucchero (ad alto contenuto di amido o zucchero))	Fermentazione	Positivo
2	Rifiuti agricoli, sfalcio erba e alberi (biomassa cellulosa)	Idrolisi e fermentazione	Neutrale
3	Microalgae, macroalgae (Microorganismi)	Idrolisi e fermentazione	Negativa
4	Microalgae, macroalgae (Microorganismi geneticamente modificati)	Idrolisi e fermentazione	Negativa

Panoramica della generazione di etanolo considerando materie prime, metodi di produzione e bilancio della CO₂

Stato	Produzione di Etanolo (ML)	Percentuale produzione globale (%)	Percentuale di miscelazione per volume
USA	59,719	54.35	10 – 15
Brasile	32,441	29.53	27
Europa	0,5451	4.96	10
Cina	0,3407	3.10	10
Canada	0,1893	1.72	5 – 8.5

I cinque maggiori produttori di etanolo e le loro percentuali di miscelazione per volume, 2019

Nel caso dell'etanolo di prima generazione o convenzionale, il prezzo è determinato dal costo della materia prima. Alte rese di mais o canna da zucchero possono renderlo significativamente più economico; Pertanto, ottenere rendimenti più alti possibili è il modo più semplice per avere maggior efficienza in termini di costi. La competitività dei prezzi della produzione è strettamente legata al prezzo del petrolio. L'etanolo ha un contenuto energetico di circa 2/3 rispetto a quello della benzina. Sulla base dei prezzi adeguati, tutti i produttori possono produrre a un prezzo inferiore a quello della benzina. Tuttavia, questi calcoli sono sensibili alle variazioni del prezzo dell'etanolo causate dai tassi di cambio (valute nazionali rispetto all'USD) e dal prezzo del petrolio grezzo.[7]

2.1.1 Prima generazione

Le colture alimentari ad alto contenuto di amido e zucchero sono utilizzate nella prima generazione di produzione di bioetanolo. Il processo di bioetanolo da colture zuccherine è estremamente semplice e non richiede lunghi passaggi. Gli zuccheri vengono estratti dalle piante attraverso la macinazione e vengono poi fermentati per produrre bioetanolo. Utilizzando culture

amidacee viene convertito l'amido in zucchero semplice, prima pulendo la biomassa dalle impurità del raccolto e poi macinato, dopodiché viene svolta la degradazione dell'amido in molecole di oligosaccaridi e destrine tramite enzimi. Ora si procede con la conversione delle oligosaccaridi e destrine in glucosio sempre tramite enzimi, da qui si procede con la fermentazione e la produzione di bioetanolo. La produzione di bioetanolo potrebbe essere aumentata con l'uso di bagassa, i rifiuti solidi rimasti dall'estrazione dello zucchero. C'è un problema su quanto tempo e quante colture alimentari possono essere utilizzate come materia prima del bioetanolo. Ciò deriva da un aumento delle popolazioni e dall'uso di colture alimentari nella produzione. Inoltre, questo ha un impatto significativo sulla determinazione dei prezzi delle attuali materie prime alla base del bioetanolo. Di conseguenza, i materiali non alimentari avranno la precedenza e continueranno ad essere l'unica fonte sostenibile di materia prima rinnovabile per il bioetanolo

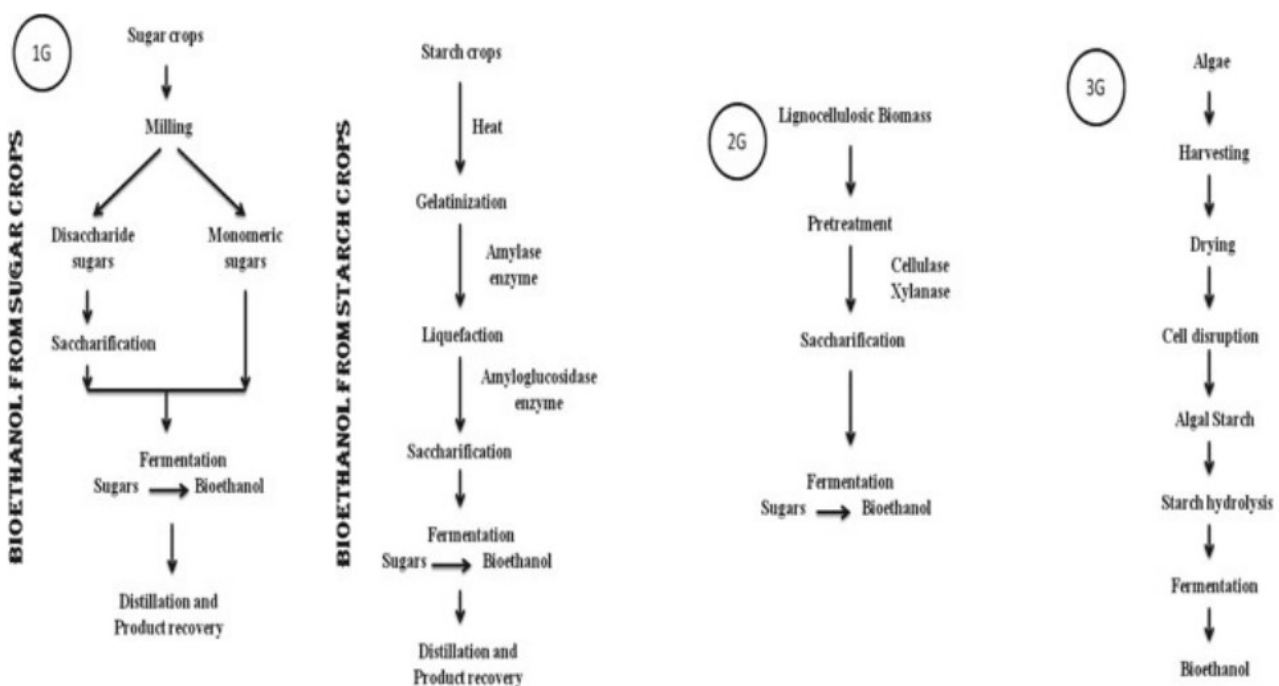
2.1.2 Seconda generazione

Il materiale lignocellulosico è raccomandato come materia prima sostenibile per la produzione di bioetanolo nella ricerca di materiali rinnovabili e non alimentari, essendo la risorsa rinnovabile più abbondante sul pianeta. La biomassa cellulosa ha un potenziale migliore per la generazione di bioetanolo rispetto alle colture ricche di amido e zuccheri. La conversione della lignocellulosa in bioetanolo è sostanzialmente più complicata della conversione dello zucchero o dell'amido. Pretrattamento, saccarificazione, fermentazione e recupero del prodotto sono i quattro processi per trasformare il materiale lignocellulosico in bioetanolo. Il pretrattamento del materiale è l'ostacolo maggiore nella produzione di etanolo celluloso, ma è un passo necessario per estrarre i carboidrati contenuti nel nucleo della lignocellulosa, che è costituito da cellulosa ed emicellulosa racchiusi all'interno di una sostanza chiamata lignina (corteccia). Il pretrattamento comporta la rimozione completa o parziale della lignina utilizzando vari modi. Di conseguenza, la fase di pretrattamento aumenta la complessità e il costo del processo di produzione dell'etanolo. I polimeri di carboidrati di cellulosa o emicellulosa vengono idrolizzati ai rispettivi monomeri, cioè zuccheri esavalenti e pentavalenti, che vengono poi trasformati in bioetanolo nella successiva fase di fermentazione.

2.1.3 Terza generazione

Le alghe hanno recentemente suscitato l'interesse di ricercatori e leader del settore come potenziale materia prima alternativa per i biocarburanti. Le macroalghe vengono utilizzate per produrre bioetanolo di terza generazione; sono divise in due categorie: microalghe e macroalghe. A causa del loro alto contenuto lipidico, le microalghe soddisfano i requisiti per la produzione

di biodiesel, mentre le macroalghe, sono utilizzate per produrre bioetanolo. Un ettaro di biomassa può produrre 365 tonnellate all'anno di prodotto secco. Inoltre, a causa del suo basso contenuto di emicellulosa e lignina, è una valida fonte di etanolo cellulosico. Di conseguenza, offrono un enorme potenziale per la produzione commerciale di bioetanolo e sono una scelta migliore rispetto ai materiali tradizionali perché hanno molti vantaggi, come una più rapida crescita e produzione, meno spazio, meno tempo per la raccolta e solo un nutriente per la crescita. In generale, si utilizzano ceppi di microalghe che crescono rapidamente e producono molta biomassa come: *Chlorella vulgaris* e *Chlamydomonas reinhardtii*; possono produrre fino a $3,28 \text{ gL}^{-1}$ e $0,86 \text{ gL}^{-1}$ di biomassa al giorno, il che li rende candidati ottimali per la produzione di biocarburanti. Poiché le alghe hanno una maggiore efficienza fotosintetica rispetto alle piante terrestri, la loro produzione di biomassa è 5-10 volte superiore. L'assenza di lignina facilita il pretrattamento e l'idrolisi enzimatica. Tuttavia, la commercializzazione di biocarburanti derivati da microalghe è ancora ostacolata da lenti tassi di crescita e bassa produzione di biomassa.[8]



Processo di produzione di bioetanolo di 1°, 2°, 3°, generazione [8]

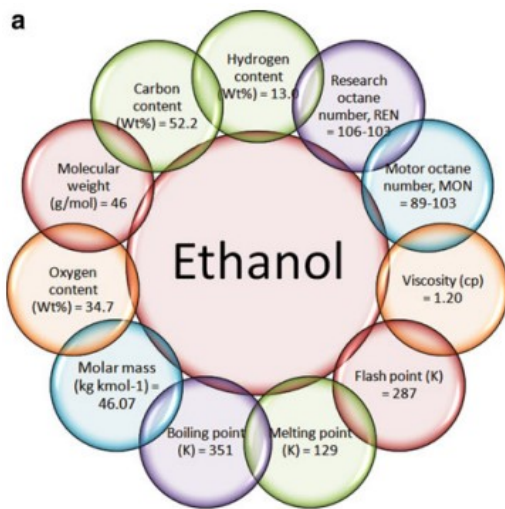
2.1.4 Nanomateriali

Si utilizzano nanocatalizzatori nella produzione di bioalcoli per il loro riutilizzo. I nanomateriali sono strutture con dimensioni variabili da 1 a 100 nm e possono essere realizzati in una grande varietà di forme, dimensioni e materiali, tra cui cobalto e nichel, nonché ossidi metallici. Le nanoparticelle magnetiche (MNP) sono molto promettenti per le applicazioni ai biocarburanti per la cattura di enzimi come cellulasi ed emicellulasi su supporti magnetici per la produzione di zuccheri e bioetanolo da biomassa lignocellulosica. È possibile recuperare e riciclare

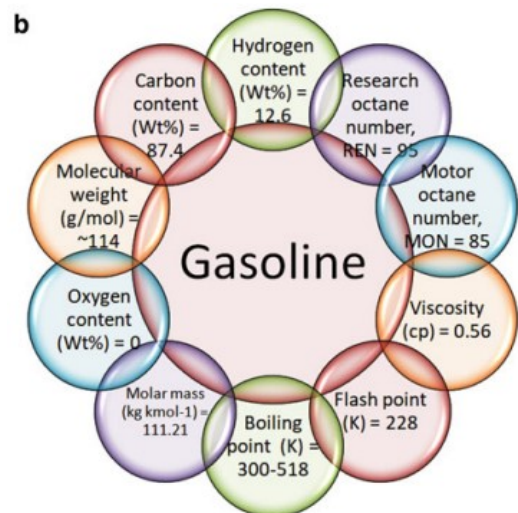
magneticamente questi enzimi catturati per il riutilizzo. Queste particelle sono costituite da fogli di grafite arrotolati con un diametro nanometrico e una grande biocompatibilità, che le rende una buona scelta per la cattura enzimatica. I nanotubi di carbonio coniugati con enzimi sono stati applicati alla biotecnologia nella generazione di biocarburanti. Oltre a quelle magnetiche, le nanoparticelle di silice possono essere impiegate per catturare enzimi lignocellulolitici come la cellulasi. Nei processi simultanei di saccarificazione e fermentazione hanno dimostrato l'attività catalitica della cellulasi catturata su nanoparticelle di silice per aumentare la produzione di bioetanolo dalla biomassa lignocellulosica. È stato scoperto che le nanoparticelle di silice hanno una maggiore affinità per l'assorbimento della cellulasi. La cellulasi catturata produceva 1,6 volte la quantità di zuccheri dalla cellulosa. Inoltre, nei processi simultanei di saccarificazione e fermentazione si ha l'idrolisi simultanea della cellulosa in glucosio da parte della cellulasi e la fermentazione simultanea del glucosio in etanolo da parte del lievito. Inoltre, la resa del bioetanolo è risultata migliorata di 2,1 - 2,3 volte grazie all'utilizzo simultaneo di saccarificazione e fermentazione.[9]

2.1.5 Bioetanolo nel trasporto

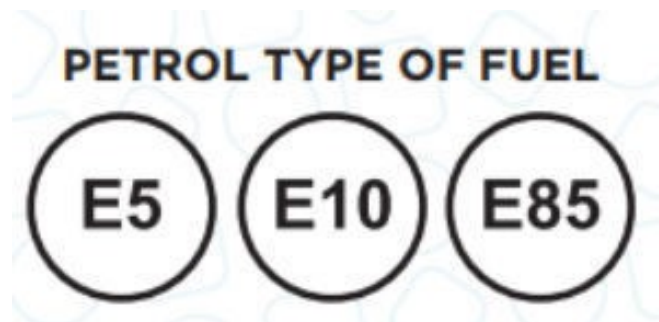
Le miscele di bioetanolo e benzina sono state inizialmente spinte per aumentare il numero di ottani ,per sostituire il piombo, e ridurre le emissioni. La quantità di emissioni di gas serra equivalenti di CO₂ nei trasporti è diminuita di 43,5 milioni di tonnellate nel 2016, secondo la Renewable Fuel Association (RFA), questo equivale a togliere 9,3 milioni di automobili dalla strada per l'intero anno. Nei motori ad accensione comandata, l'etanolo viene normalmente miscelato con benzina pura ad una percentuale predeterminata e immesso nel collettore di aspirazione o direttamente nel motore. Viene utilizzato in miscele di circa il 10%, l'E10 e altre miscele di etanolo sono efficaci nel ridurre le emissioni di monossido di carbonio del 20-30%. Il carburante contenente bioetanolo è meno tossico, ha un minore impatto sull'ambiente e proviene da fonti rinnovabili, è quindi possibile utilizzare l'etanolo come carburante per le automobili, sia come carburante autonomo che in combinazione con la benzina. La compatibilità di un motore ad accensione comandata con benzina miscelata all' etanolo al 10% ha un calo del 13% delle emissioni di monossido di carbonio e del 19% delle emissioni di idrocarburi, un calo del 2% delle emissioni di anidride carbonica ma un aumento del 16% delle emissioni di ossido di azoto. Con più bioetanolo nelle miscele rispetto al 20%, le emissioni di idrocarburi e monossido di carbonio sono ridotte drasticamente, inoltre, contiene la maggior quantità di ossigeno di qualsiasi carburante attualmente disponibile, permettendogli di bruciare in modo più omogeneo rispetto alla benzina fossile.[10]



a: proprietà fisico-chimiche dell'etanolo



b: proprietà fisico-chimiche della benzina



Nuove diciture della benzina che indicano la percentuale di etanolo. – foto da Volante.it

2.2 Biodiesel

L'idea di utilizzare oli vegetali come carburanti per i motori diesel risale a più di un secolo fa. Storicamente, Rudolf Diesel, l'inventore del motore diesel, all'Esposizione di Parigi del 1900, per la prima volta, fece funzionare un motore diesel con l'olio di arachidi. Oggi, oltre un secolo dopo, si sta lavorando sui potenziali benefici del biodiesel come carburante alternativo al diesel.

2.2.1 Materie prime per la produzione

In tutto il mondo le materie prime per la produzione di biodiesel sono oli vegetali; la scelta varia a seconda della disponibilità e della posizione geografica. Gli oli raffinati possono essere relativamente costosi rispetto ai prodotti petroliferi, e la scelta dell'olio per la produzione di biodiesel dipende dalla disponibilità locale e dall'accessibilità. Le colture oleaginose dominano come materie prime utilizzate per la produzione mondiale di biodiesel. Con una quota di quasi l'85%, l'olio di colza è di gran lunga leader nel settore, seguito da olio di semi di girasole, olio di soia e olio di palma; anche altri oli vegetali commestibili sono stati transesterificati con successo

come, olio di cocco, crusca di riso, mais, tabacco, oli di semi di gomma, grassi animali, e oli usati. Come tale, qualsiasi lipide animale o vegetale è idoneo alla produzione di biodiesel. Caratteristiche come l'offerta, i costi, le proprietà di stoccaggio e le prestazioni del motore determinano se una particolare materia prima è effettivamente accettabile per la produzione commerciale di carburante.

2.2.2 Prima generazione

I biodiesel di prima generazione possono essere definiti come oli commestibili provenienti da prodotti agricoli come olio di palma, oliva, girasole, cocco, colza, semi di colza, ecc. Oggi, il derivato dagli oli commestibili ha raggiunto oltre il 95% e ha sollevato molte questioni, in particolare il confronto tra l'offerta alimentare e la crisi della domanda di petrolio, la deforestazione e la distruzione del suolo per scopi di piantagione di materie prime. Nell'ultimo decennio, il prezzo degli oli alimentari è aumentato, mentre la domanda di produzione è in continuo aumento, con il risultato che il biodiesel a base commestibile è meno conveniente.

2.2.3 Seconda generazione

Il biodiesel è derivato dall'olio non utilizzato a uso alimentare; Le colture oleaginose non commestibili possono essere piantate in terreni incolti o in aree degradate senza bisogno di un'intensa lavorazione e può produrre elevate rese di olio. Inoltre, gli oli usati e i grassi animali possono essere classificati come biodiesel di seconda generazione. L'uso dei rifiuti come materia prima può ridurre il problema dello smaltimento dei rifiuti e il costo della produzione. Sia gli oli usati che i grassi animali hanno maggiori probabilità di contenere acqua e un valore di acidi grassi leggermente superiore rispetto agli oli vergini, il che si traduce in una qualità dell'prodotto inferiore.

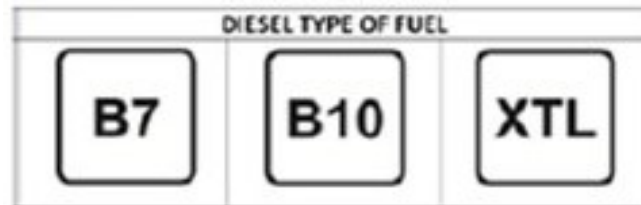
2.2.4 Terza generazione

Le microalghe hanno il vantaggio di crescere ad un ritmo più veloce in condizioni fotoautotrofe e danno una resa di olio migliore rispetto all'olio vegetale commestibile e non commestibile, inoltre, uno studio ha scoperto che il biodiesel a base di alghe ha un'impronta di carbonio inferiore, il che è vantaggioso per l'ecosistema. Tuttavia, è importante studiare il costo di produzione in modo che sia molto più economico per la produzione di massa come alternativa alle fonti di combustibili fossili.

2.2.5 Tecniche di produzione

L'uso diretto di olio vegetale nei motori diesel è problematico a causa della sua elevata viscosità, circa 11-17 volte superiore al diesel fossile; i punti di infiammabilità estremamente elevati degli oli vegetali e la loro tendenza alla polimerizzazione termica o ossidativa aggravano la situazione, portando alla formazione di depositi sugli ugelli dell'iniettore, e a una graduale diluizione e degradazione dell'olio lubrificante e all'incollaggio delle fasce elastiche. Di conseguenza, il funzionamento a lungo termine con oli vegetali interi o su miscele di oli vegetali e gasolio fossile provoca inevitabilmente la rottura del motore. Chimicamente, gli oli vegetali / grassi animali sono costituiti da molecole di trigliceridi e acidi grassi a catena lunga. Pertanto, si può produrre il biodiesel dagli esteri alchilici degli acidi grassi a catena lunga, che sono sintetizzati mediante transesterificazione con alcoli o esterificazione. Quest'ultima strategia mira a modificare gli oli vegetali con varie tecnologie per produrre biocarburanti che si avvicinassero alle proprietà e alle prestazioni del diesel fossile. Sono stati studiati quattro metodi per ridurre l'elevata viscosità degli oli vegetali e per consentirne l'uso nei comuni motori diesel senza problemi operativi: miscelazione con diesel, pirolisi, transesterificazione e microemulsificazione. La transesterificazione è di gran lunga il metodo più usato per la produzione del biodiesel usando esteri alchilici di oli vegetali o grassi animali. La pirolisi utilizza reazioni di decomposizione termica, solitamente provocate in assenza di ossigeno; la pirolisi di oli vegetali e di pesce, opzionalmente in presenza di sali metallici come catalizzatori, è stata condotta come mezzo per produrre combustibili di emergenza durante la Seconda guerra mondiale; questo trattamento si traduce in una miscela di alcani, alcheni, alcalini, aromatici e acidi carbossilici, che sono simili al diesel fossile. Il numero di cetano è maggiore su oli vegetali e le concentrazioni di zolfo, acqua e sedimenti per i prodotti risultanti sono accettabili. Tuttavia, secondo le norme odierne, la viscosità dei combustibili è considerata troppo elevata, le ceneri e i residui di carbonio superano di gran lunga i valori del diesel fossile e le proprietà di flusso a freddo degli oli vegetali pirolizzati sono scarse. Inoltre, si sostiene che l'assenza di ossigeno durante la pirolisi elimina uno dei principali benefici ecologici dei combustibili, l'alta ossidazione, cioè una combustione incompleta a causa della minor disponibilità di ossigeno nella camera di combustione. La microemulsificazione è la formazione di dispersioni termodinamicamente stabili di due liquidi solitamente non miscibili, provocati da uno o più tensioattivi. I diametri delle gocce nelle microemulsioni variano tipicamente da 100 a 1000Å. Vari ricercatori hanno studiato la microemulsificazione di oli vegetali con metanolo, etanolo e butanolo e sono giunti alla conclusione che le microemulsioni di oli e alcoli vegetali non possono essere raccomandate per l'uso a lungo termine nei motori diesel per ragioni simili a quelle applicabili agli oli vegetali puri,

hanno un basso numero di cetano e comportamento instabile a basse temperature. La transesterificazione è il processo più utilizzato tanto che il termine "biodiesel" viene ora utilizzato solo per indicare i prodotti ottenuti da questo processo, è una reazione chimica che converte un estere (trigliceride) in un altro estere (estere metilico) per reazione con alcool (metanolo) in presenza di un catalizzatore alcalino (idrossido di sodio o di potassio), dopodiché viene purificato il prodotto ottenuto rimuovendo le sostanze superflue come glicerolo e altre impurità ricavando biodiesel.[11]



Nuove diciture del diesel che indicano la percentuale di biodiesel. – foto da ANSA.it

2.3 E – Fuels

Gli e-fuel sono combustibili sintetici creati dalla combinazione di idrogeno o idrogeno verde prodotto dall'elettrolisi dell'acqua con elettricità prodotta da fonti rinnovabili e CO₂ catturata dall'atmosfera o assorbita dai processi industriali. In letteratura vengono chiamati electro – fuels, power – to – X (PtX), power - to – liquids (PtL), power – to – gas (PtG) e carburanti artificiali. Nelle tabelle vediamo l'uso primario degli e – fuels nei diversi settori del trasporto confrontando combustibili liquidi e gassosi, e i valori di potere calorifico inferiore (LHV) e la difficoltà di stoccaggio.[12]

	E-fuels	Passenger cars	Heavy duty	Maritime	Aviation	Other sectors (non-transport)
Gas	e-methane (CH ₄)	x	xx	xx		xxx
	e-hydrogen (H ₂)	xx	xx	x		x
Liquid	e-ammonia (NH ₃)	x	x	xxx		
	e-methanol (CH ₃ OH)	xx	x	x		
	e-DME/e-OME	x	xx	xx		
	e-gasoline	x				
	e-diesel	x	xxx	xx		
	e-jet					xxx

x-the relative potential role of e-fuel for the transport sector

■ Primary use, ■ Secondary use, ■ Minor usage

Other sector—industries, infrastructure, etc.

Potenziali usi primari e – fuels [12]

	E-fuels	Lower heating value (LHV), MJ/kg/MJ/l	Storage	Additional infrastructure	Powertrain development
Gas	e-methane	46.6/0.04	M	No	N
	e-hydrogen	120/0.01	D	Y	N
Liquid	e-ammonia	18.6/14.1	E	Y	Y
	e-methanol	19.9/15.8	E	N	Y
	e-DME	28.4/19.0	E	Y	Y
	e-OME	19.2/20.5	E	Y	Y
	e-gasoline	41.5/31.0	E	N	N
	e-diesel	44.0/34.3	E	N	N
	e-jet	44.1/33.3	E	N	N

^aMost of the available logistics are applicable for E-methanol whereas storage is still an issue

^bThe applicability of FCEV is still not clear

N-No, Y-Yes

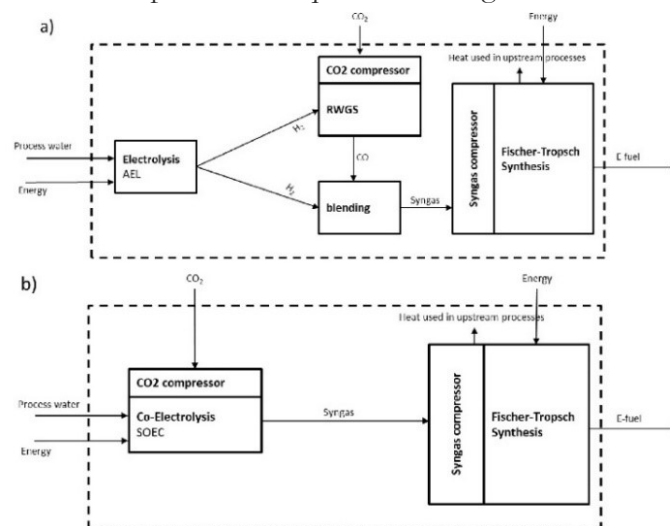
E-Easy, M-Medium, D-Difficult

Positive characteristics, Negative characteristics

Visione qualitativa e -fuels [12]

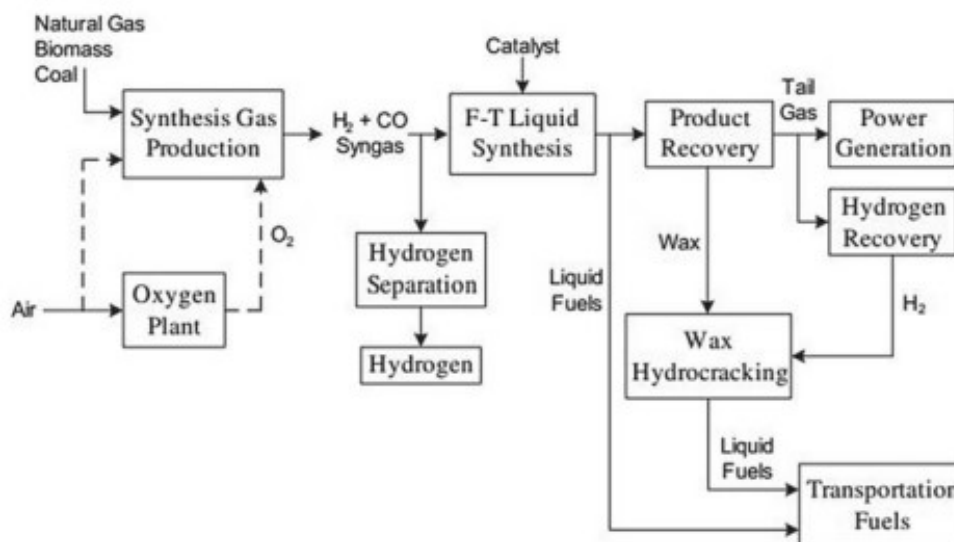
2.3.1 Aspetti tecnologici

Le tecnologie disponibili per l'elettrolisi dell'acqua sono l'elettrolisi alcalina (AEL) e l'elettrolisi a membrana a scambio protonico (PEM). Gli elettrolizzatori PEM sono disponibili in commercio solo per applicazioni di media e piccola scala e hanno un costo significativamente più elevato e una durata inferiore rispetto ai sistema AEL. Pertanto, consideriamo il sistema AEL; funziona tipicamente a temperature comprese tra 50 °C e 90 °C e pressioni fino a 30 bar con un'efficienza di conversione (LHV) di circa il 63%. In futuro sarà possibile effettuare l'elettrolisi a vapore ad alta temperatura in una cella di elettrolisi ad ossidi solidi (SOEC) con una miglior efficienza perché parte dell'energia necessaria viene fornita come calore. Le temperature tipiche vanno da 800°C a 1000°C; con queste temperature si risparmia il 25% di energia fornita per l'elettrolisi dell'acqua e l'efficienza di conversione è del 73% LHV. Tuttavia, ora è disponibile solo a livello sperimentale questa tecnologia.



Flussi di input-output per la produzione di carburante elettronico per le tecnologie AEL (a) e SOEC (b). [12]

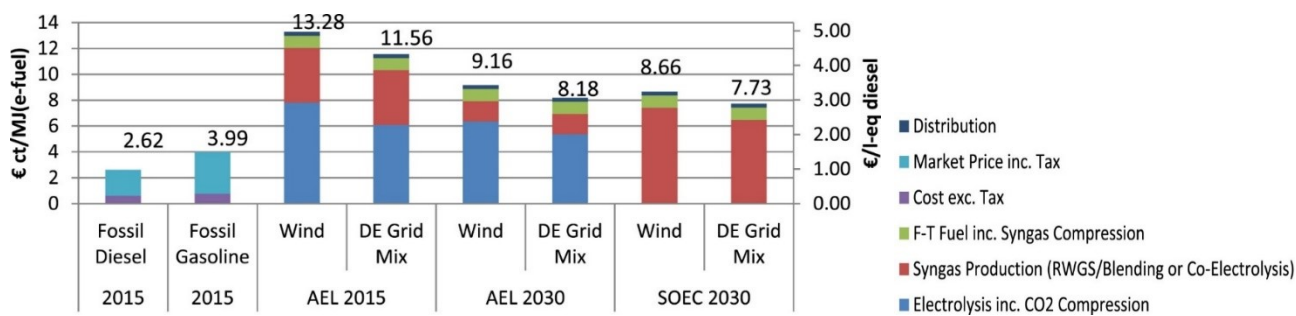
Gli e – fuels derivano dal syngas, una miscela di H₂ (diidrogeno) e CO (monossido di carbonio) e viene prodotto comunemente dalla gassificazione di biomassa, oppure miscelando H₂ prodotto tramite elettrolisi dell'acqua e CO₂. La sintesi Fischer – Tropsch è ampiamente utilizzata e converte il syngas in una gamma di idrocarburi, dal metano alle cere. I prodotti dipendono dalle temperature di reazione, dalla pressione, dal tempo di residenza, dalla composizione del syngas e dal catalizzatore. Per produrre idrocarburi liquidi si prediligono basse temperature (220°C – 250°C), alte pressioni (fino a 4 MPa) e un rapporto molecolare H₂ e CO di 2; formando così catene di idrocarburi più lunghe e minor produzione di metano.



Produzione di e – liquid [12]

2.3.2 Valutazione economica

Per questa valutazione vengono considerate due tecnologie attuali (2015) e quattro tecnologie future (2030). Per i casi attuali si considera l'elettrolisi AEL per la produzione di idrogeno e la tecnologia di cattura della CO₂. Per i casi futuri si assume che la SOEC sia utilizzabile per la produzione su larga scala di syngas e che la cattura di CO₂ sia ulteriormente sviluppata. Come fonte elettrica per l'elettrolisi si considera l'energia eolica per la fonte rinnovabile e il mix elettrico della rete tedesca come fonte non rinnovabile (DE grid mix). Etichettatura delle varie casistiche: AEL-2015-Wind, AEL-2015-DE-Grid-Mix, AEL-2030-Wind, AEL-2030-DE-Grid-Mix, SOEC-2030-Wind e SOEC-2030-DE-Grid-Mix. Per la valutazione economica viene calcolato il costo del e – fuels considerando i costi di produzione (investimento, materie prime, manutenzione e costo dell'elettricità) e la distribuzione. Non si considerano i costi di infrastrutture e modifica dei veicoli perché possono essere utilizzati dai motori a combustione interna e possono essere distribuiti con le attuali infrastrutture di rifornimento. Per la cattura di CO₂ si adotta un costo nel 2015 di 512 € / tonnellata decrescente a 183 €/ tonnellata nel 2030, all'acqua si attribuisce un costo di 4,4 Euro / litro e per l'elettricità si considera un costo di 0,08 €/KWh.



Risultati economici con le energie rinnovabili (eolico) e il mix energetico tedesco (mix di rete DE).

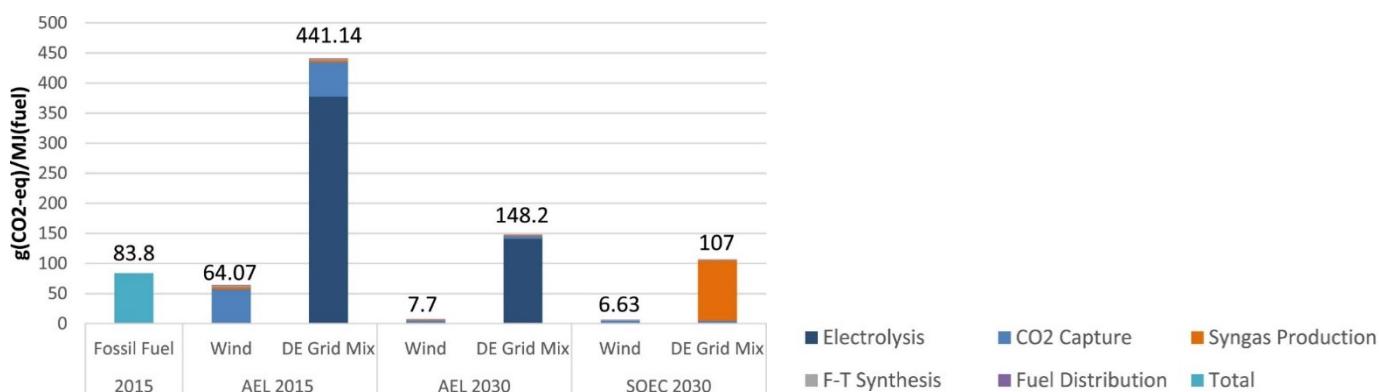
Come si vede il costo di produzione è superiore ai costi dei combustibili fossili. Le materie prime sono le principali colpevoli dei costi elevati della produzione (64%), seguito dal costo degli investimenti e dello stoccaggio.

	AEL-2015- Vento	AEL-2030- Vento	SOEC-2030- Vento
Costo delle materie prime (elettricità, CO ₂ , Acqua) [€ ct./MJ] _{e-carburante}	8.87	5.97	4.64
O&M [€ ct./MJ] _{e-carburante}	3.82	2.60	2.13
Costi di stoccaggio e distribuzione [€ ct./MJ] _{e-carburante}	0.59	0.59	1.89

Risultati della valutazione economica per i casi in cui il vento è utilizzato come fonte di energia elettrica.

2.3.3 Valutazione ambientale

I casi AEL-2015 hanno le emissioni più elevate e i casi SOEC-2030 hanno le emissioni più basse che riflettono l'ulteriore penetrazione dell'elettricità rinnovabile nel mix elettrico tedesco e minori requisiti energetici per la cattura della CO₂ nel 2030. La sostituzione dell'elettricità di rete con l'energia eolica migliora significativamente il CO_{2-eq} per tutti i casi. Il CO_{2-eq} delle emissioni di combustibili fossili è sempre superiore a quelle degli e-combustibili se si utilizza l'energia eolica. In tutti i casi, le emissioni per gli e-fuel sono superiori a quelle per i combustibili fossili se si utilizza il mix elettrico tedesco. La riduzione delle emissioni mediante la diffusione dell'e-fuel è possibile solo se una quota sostanziale dell'energia utilizzata proviene da fonti rinnovabili.[13]

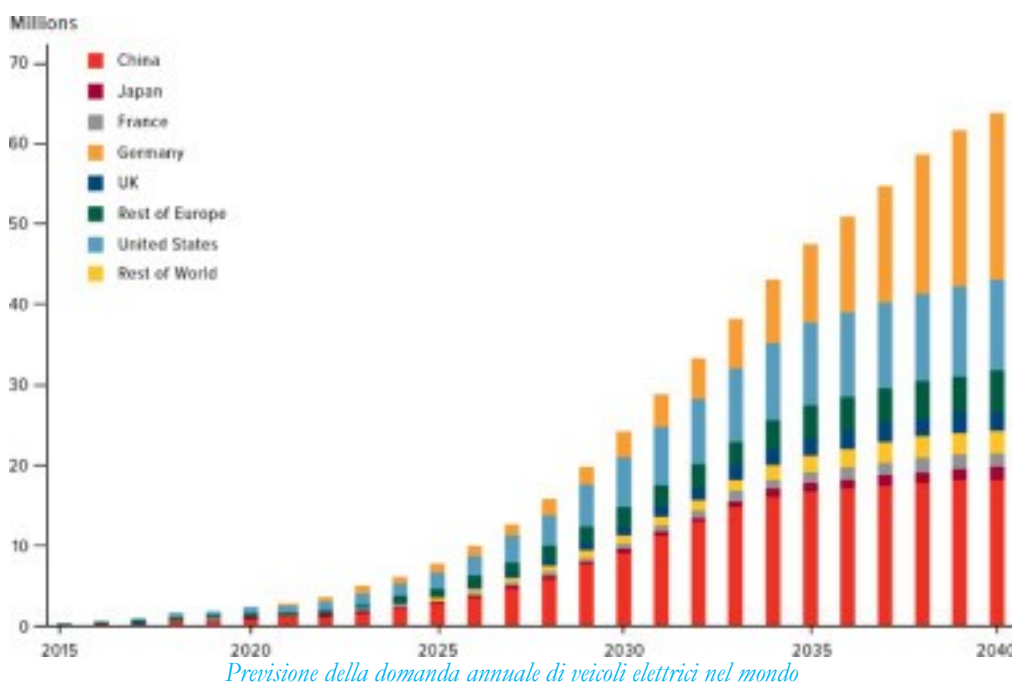


Emissioni con elettricità rinnovabile (eolico) e mix elettrico tedesco (mix di rete DE)

Capitolo3: Batterie per i veicoli elettrici ed utilizzo del veicolo come accumulatore domestico

3.1 Mercato dei veicoli elettrici

A causa di un aumento del livello di inquinanti nell'atmosfera dati dai veicoli e della diminuzione delle riserve di petrolio c'è un aumento della domanda di veicoli elettrici e ibridi con meno emissioni di CO₂. I veicoli elettrici convertono dal 59% al 62% dell'energia elettrica fornita mentre i veicoli a benzina convenzionali convertono solo dal 17% al 21% dell'energia immagazzinata nella benzina in energia meccanica. I veicoli ibridi in genere ottengono un migliore risparmio di carburante e hanno costi di gestione inferiori rispetto a veicoli convenzionali. Ad esempio, l' Honda Civic HEV ha una stima combinata di 19 Km / litro, mentre la stima per la Civic (quattro cilindri, automatica) è di circa 15 Km / litro. Gli HEV possono ridurre drasticamente i costi del carburante grazie al basso costo dell'elettricità rispetto al carburante fossile. Poiché dipendono esclusivamente o parzialmente dall'energia elettrica, il loro risparmio di carburante viene misurato in modo diverso rispetto ai veicoli convenzionali. Si sta inoltre cercando di migliorare l'efficienza e le prestazioni dei veicoli elettrici ma si stanno anche considerando il costo e la durata. Sulla base di diverse analisi, il mercato mondiale dei veicoli elettrici potrebbe superare i 60 milioni di veicoli venduti in un anno entro il 2040.



A causa dell'aumento dei prezzi dei combustibili fossili, le persone stanno prendendo in considerazione l'acquisto di un veicolo elettrico o ibrido in modo da ridurre i costi di gestione e le emissioni di inquinanti.

3.2 Tipologie di batterie più comuni nei veicoli elettrici

La scelta del tipo di batteria adeguato è il compito principale nella progettazione dei veicoli elettrici. Esistono tre tipi di batterie dominanti nei veicoli elettrici, ovvero batterie al piombo – acido, idruro di nichel metallico e ioni di litio. Confrontiamo i tre tipi di batterie.

Indicazioni	Piombo	Idruro metallico di nichel	Ioni di litio Cobalto	Manganese	Fosfato
Componenti principali	Piombo metallico, biossido di piombo, solfato di piombo e acido solforico	Idrogeno, idrossido di nichel e idrossido di potassio	Litio, Ferro, Alluminio, Rame, Cobalto	Litio, Manganese, Grafite	Litio, Ferro, Fosfato, Alluminio, Rame, Elettrolita Organico, Grafite
Energia specifica (Wh / kg)	30 – 50	60 - 120	150 - 190	100 - 135	90 - 120
Resistenza interna (mΩ)	<100 a 12 V	200 – 300 a 6V	150 – 300 a 7,2 V	25 – 75 per cella	25 – 50 per cella
Ciclo di vita (scarica 80%)	200 - 300	300 - 500	500 - 1000	500 - 1000	1000 – 2000
Tempo di ricarica rapida	8 – 16 ore	2 – 4 ore	3 – 4 ore	< 1 h	< 1 h
Tolleranza al sovraccarico	Alto	Basso	Basso	Basso	Basso
Autoscarica / mese (25°C)	5%	30%	<10%	<10%	<10%
Tensione cella (nominale)	2 V	1,2 V	3,6 V	3,8 V	3,3 V
Tensione di interruzione della carica (V / cella)	2,40	Rilevamento completo della carica	4,20		3,60
Corrente di picco in carica	5C	5C	>3C	>30C	>30C
Temperatura di carica	Da – 20 a 50 °C	Da – 20 a 65 °C	Da – 20 a 60°C		
Temperatura di utilizzo	Da – 20 a 50 °C	Da – 20 a 65 °C	Da – 20 a 60 °C		
Requisiti di manutenzione	3 – 6 mesi	60 – 90 giorni			
Requisiti di sicurezza	Stabilità termica	Stabilità termica, protezione con fusibile	Circuito di protezione obbligatorio	Circuito di protezione obbligatorio	Circuito di protezione obbligatorio

Oggi, i veicoli elettrici possono ridurre il consumo di benzina del 75% e per questo motivo, le batterie dei veicoli elettrici hanno guadagnato crescente attenzione nel mercato dei veicoli. La dimensione del mercato globale delle batterie EV è stata di 21,95 miliardi di dollari USA nel 2020 e si prevede che il mercato crescerà da 27,30 miliardi di dollari USA nel 2021 a 154,90 miliardi di dollari USA nel 2028. Poiché vi è un aumento della domanda di trasporto sia privato che pubblico in tutto il mondo, il livello di inquinamento sta salendo, pertanto, vi è una crescente necessità di veicoli elettrici e dall'ultimo decenni stanno diventando sempre più popolari nel mercato automobilistico. A causa dell'inquinamento e della crisi energetica, le ricerche sui veicoli a trazione elettrica, compresi i veicoli elettrici a batteria EV, HEV e PHEV, sono aumentate vertiginosamente in tutto il mondo. Considerata la potenza principale degli EV, la tecnologia delle batterie ha attirato sempre più attenzione. Considerando il prezzo del pacco batteria, le batterie al piombo-acido, all'idruro di metallo di nichel e agli ioni di litio sono i tipi di batterie dominanti per i veicoli elettrici.

3.2.1 Piombo – Acido

Sono costituite da diverse celle formate da strati di piastre in lega di piombo immersi in una soluzione elettrolitica formata da acido solforico al 35% e il 65% di acqua. Il piombo puro è troppo delicato come metallo, pertanto vengono aggiunti altri metalli in piccole quantità per ottenere migliori caratteristiche meccaniche ed elettriche. Quando l'acido interagisce con la piastra di piombo si innesca una reazione chimica che produce energia. Sono pesanti e meno robuste rispetto al nichel e al litio se utilizzate su cicli ad alta profondità di scarica. Hanno una vita moderata e la loro durata di carica è la migliore tra le batterie ricaricabili, inoltre hanno il vantaggio di essere economiche, facili da produrre, poca autoscarica e buone prestazioni a basse ed alte temperature. Esistono vari sistemi di accumulo a batteria al piombo – acido utilizzati in diverse situazioni con specifiche caratteristiche di carica / scarica come:

- **Batterie al piombo allagate:** sono le più utilizzate nel settore automobilistico e le più economiche. Le più avanzate sono prodotte in due modi, riparabili o esenti da manutenzione. Richiedono cure aggiuntive come l'aggiunta di acqua, ricarica e pulizia dei terminali.
- **Batterie al piombo acido sigillate:** sono regolate da valvole, il loro assemblaggio, cioè numero di piastre e spessore, è scelto in base all'utilizzo finale. Tendono a non solfatarsi come le celle umide e sono considerate le batterie agli ioni di piombo più sicure. Le più comuni sono quelle a Vetro assorbito opaco (AGM) ed Elettrolita gelificato (Gel Cell).

- **Batterie a piombo – acido a ciclo profondo:** sono progettate per cicli di carica/scarica profondi. Contengono meno piastre rispetto alle precedenti ma considerevolmente più spesse. Ciò riduce la superficie totale portando a una batteria con corrente massima inferiore. Tuttavia, la batteria è progettata per una condizione di carica notevolmente profonda. Il ciclo profondo è utilizzato per il ciclo di carica/scarica sotto forma di corrente costante (CC). Entrambi i tipi AGM e GEL di batterie al piombo-acido forniscono la funzione di ciclo profondo.

3.2.2 Nichel metallo idrato

Le batterie al nichel metallo idrato offrono un ragionevole intervallo di temperatura di funzionamento e conservazione, una maggiore densità di energia rispetto al piombo – acido e una lunga durata in applicazioni stazionarie. Verranno applicate nei tipi start-stop di micro-HEV, nell'accumulo temporaneo di energia per la frenata dei treni, nei traghetti e autobus. Sebbene abbiano un'elevata tolleranza all'utilizzo intenso e una lunga durata, hanno una densità di energia gravitazionale relativamente bassa rispetto alle batterie agli ioni di litio. La richiesta di autonomia più elevata limita le prospettive future delle batterie al nichel metallo idrato nei veicoli elettrici. Oltre 10 milioni di HEV attualmente in circolazione sono alimentati da queste batterie per applicazioni di propulsione. Funziona sulla base di reazioni elettrochimiche di carica / scarica che si verificano tra elettrodi positivi e negativi. Durante il processo di carica, all'anodo, con un potenziale elettrico collegato, l'acqua nell'elettrolita viene trasformata in particelle di idrogeno, che vengono assimilate nella combinazione. Al catodo, la reazione di carica si basa sull'ossidazione dell'idrossido di nichel proprio come nella coppia nichel-cadmio. Durante il processo di scarica, all'anodo, l'idrogeno viene rilasciato combinandosi con uno ione ossidrilico per formare acqua mentre contribuisce anche un elettrone al processo. Al catodo, l'ossido-idrossido di nichel ferro viene ridotto al suo stato di valenza inferiore, l'idrossido di nichel. Ci sono diverse considerazioni per progettare il sistema per batterie al nichel metallo idrato, come:

- **Materiali per lo sviluppo:** I materiali per lo sviluppo delle superfici esterne delle batterie sono generalmente contenuti in acciaio nichelato e, di conseguenza, sono impermeabili alla maggior parte degli agenti naturali.
- **Temperatura:** Funzionano idealmente a temperatura ambiente (25 °C). Tuttavia, con considerazioni caute per quanto riguarda i parametri, rimangono pratici nonostante vengano utilizzati in ambienti a temperatura significativamente più alta.
- **Condizioni operative:** Possono essere utilizzate nell'intervallo di temperatura da 0 °C a 50 °C.

- **Urti e vibrazioni:** Resistono ad urti e vibrazioni, rendendo queste batterie adatte per hardware elettronici compatti e portatili in quanto le prestazioni della batteria non sono influenzate negativamente dalla manipolazione.

3.2.3 Ioni di litio

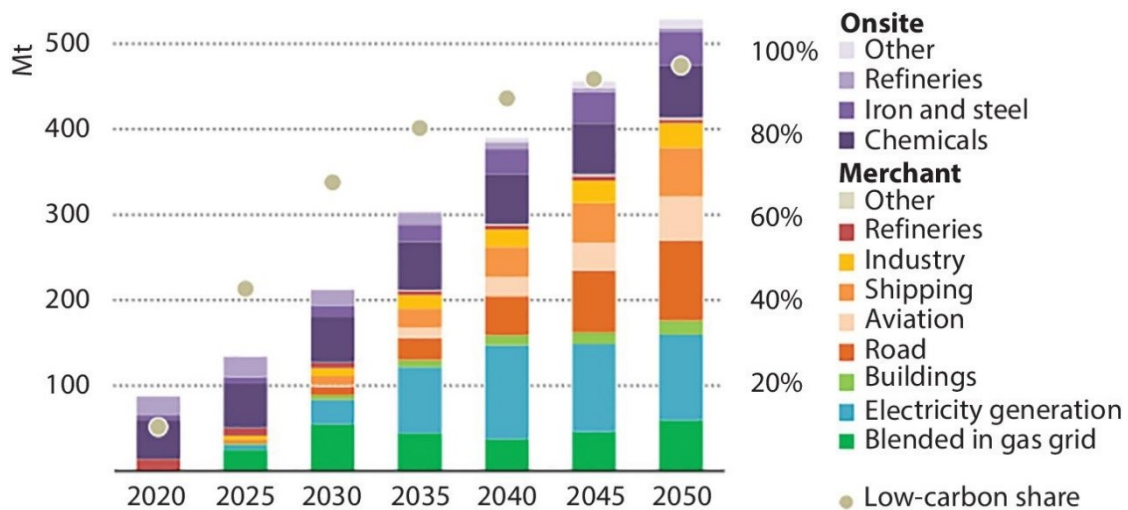
Le batterie agli ioni di litio sono batterie ricaricabili con buona capacità di ricarica quando sono state completamente o parzialmente scaricate e vengono utilizzate in veicoli elettrici ed ibridi. Sono considerate le batterie più promettenti per i veicoli elettrici grazie alla loro elevata densità di energia e alla lunga durata del ciclo. La sfida principale in passato era dovuta all'uso a determinate temperature in quanto influivano sulle prestazioni. Tuttavia, le batterie agli ioni di litio offrono la maggior parte dell'economia delle batterie negli ultimi anni grazie ai loro rapporti di elevata potenza e alta densità energetica. Il litio è il più leggero dei metalli, fornisce un'elevata capacità di tensione, che porta ad un'elevata energia e potenza specifica. I polimeri di litio e gli ioni di litio sono le tecnologie più utilizzate:

- **Polimeri di litio:** utilizzano litio metallico e ossido rispettivamente per gli elettrodi negativi e positivi. Sono strutturati in modo tale che gli ioni di litio possono essere rimossi durante i cicli di scarica e carica. Si utilizza un elettrolita polimerico solido, che ha il vantaggio di aver maggiore sicurezza e flessibilità. Durante la scarica gli ioni di litio si formano all'elettrodo negativo e vengono spostati sull'elettrodo positivo. Durante la carica, il processo si inverte e gli ioni si spostano dall'anodo al catodo.
- **Ioni di litio:** Gli ioni di litio si spostano dall'elettrodo negativo all'elettrodo positivo durante la scarica e viceversa durante la ricarica; utilizzano carbonio per l'elettrodo negativo invece del litio metallico e un ossido metallico per l'elettrodo positivo. Durante i cicli di scarica e carica, gli ioni di litio migrano tra gli elettrodi positivi e negativi. Le batterie agli ioni di litio a base di cobalto hanno una maggiore energia specifica e una maggiore densità di energia, ma i loro costi e il tasso di scarica sono elevati. Le batterie agli ioni di litio a base di manganese sono significativamente le più basse in termini di costi ed energia specifica. In genere, le batterie agli ioni di litio sono disponibili da 3,0 a 4,5 V per cella. Poiché hanno una tensione per cella più elevata, un ciclo di vita migliore e una maggiore densità di energia, sono diventate sempre più importanti nelle applicazioni industriali. Va notato che le eccellenti prestazioni a bassa temperatura, la bassa capacità di autoscarica e i semplici metodi di ricarica sono le altre caratteristiche apprezzate rispetto agli altri tipi di batterie.[14]

3.3 Veicoli a Celle a combustibile

3.3.1 L'utilizzo di idrogeno nei veicoli elettrici

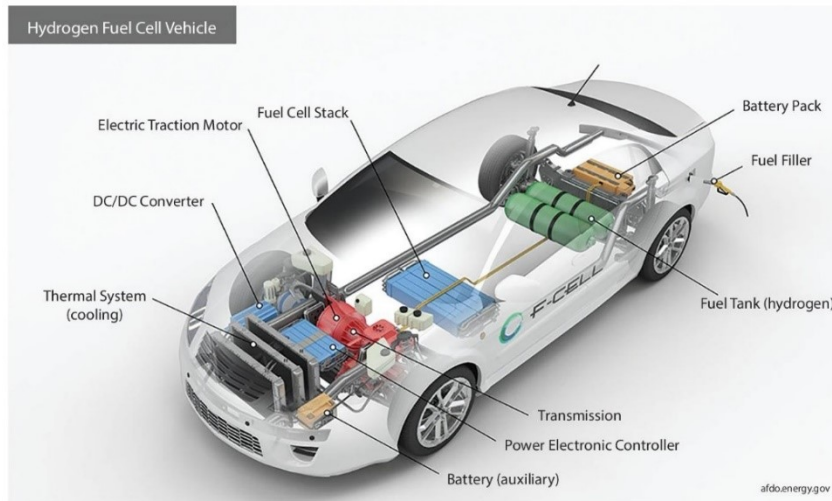
Il mondo ha raggiunto il punto di non ritorno per le emissioni di CO₂ e quindi si devono adottare soluzioni efficaci per contrastare il problema. Molte nazioni e agenzie hanno iniziato ad affrontare questo problema, come si può vedere dal rapporto “net zero emission by 2050 roadmap” dell’IEA, dove si prevedono drastici cambiamenti dei combustibili fossili sostituendoli con idrogeno proveniente da fonti pulite come l’elettrolisi prodotta con fonti di energia rinnovabile o comunque con basso impatto ambientale. Di seguito si mostra il piano di sviluppo futuro per l’utilizzo di idrogeno in vari settori



IEA. All rights reserved.

Piano per l'utilizzo di idrogeno come combustibile per il futuro (Net Zero by 2050)

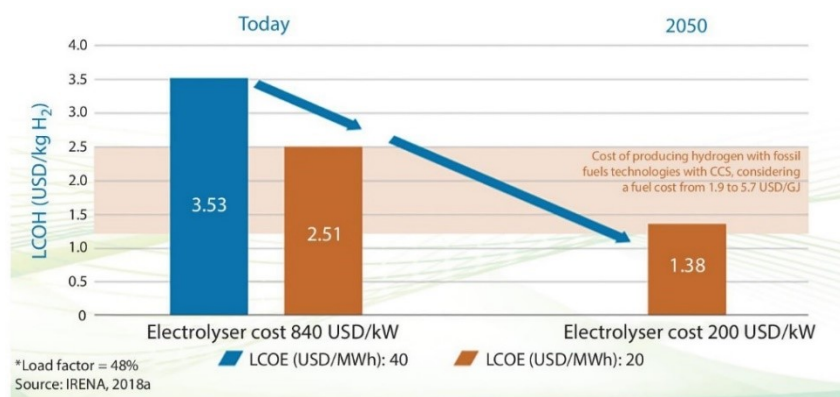
Il piano è di aumentare l'utilizzo dell'idrogeno da meno di 100 Mt a oltre 500 Mt tra il 2020 e il 2050 e l'utilizzo di idrogeno come carburante nei trasporti gioca un ruolo importante anche per i prossimi anni. I veicoli a celle a combustibile (FCEV) utilizzano l'energia elettrica prodotta dalle celle a combustibile alimentate a idrogeno. Le FCEV non hanno emissioni e i prodotti della reazione sono acqua e calore, inoltre hanno una maggior efficienza rispetto alle convenzionali auto con motore a combustione interna (MCI); sono dotate di una batteria supplementare per immagazzinare l'energia del sistema di frenata rigenerativa, energia che altrimenti andrebbe persa e questo comporta una maggiore efficienza globale del veicolo. Hanno alcuni vantaggi anche rispetto ai veicoli elettrici. L'energia viene prelevata da serbatoi di idrogeno, il che non richiede lunghi tempi di ricarica e la potenza del veicolo non dipende dalla capacità della batteria come succede nei veicoli elettrici.



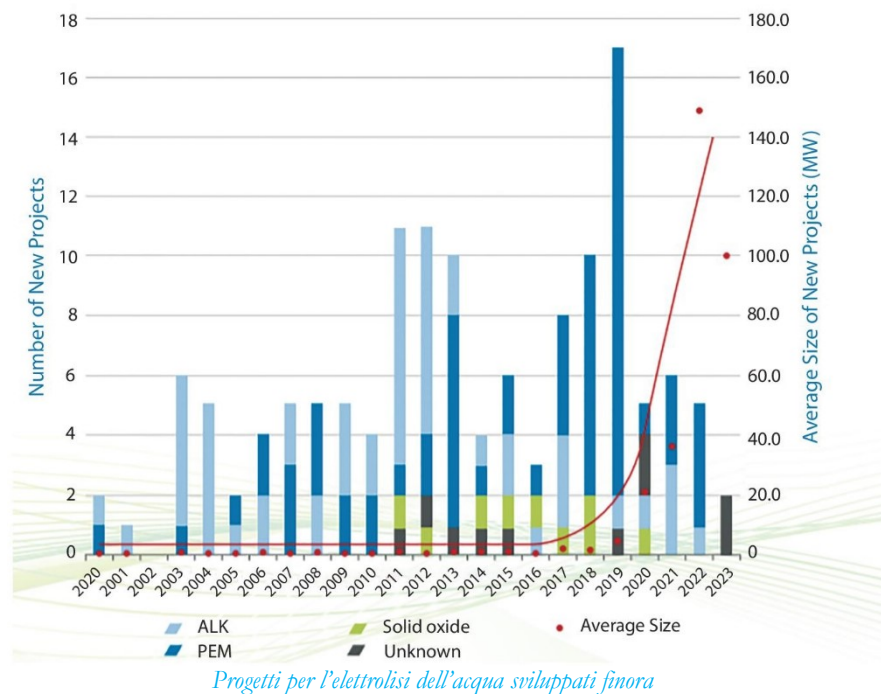
Componenti di un FCEV

3.3.2 Produzione di idrogeno per veicoli elettrici

Il processo di produzione di energia a bordo del veicolo è totalmente privo di CO₂; tuttavia, le fonti di idrogeno puro finora non sono prive di CO₂ e talvolta sono anche superiori alle emissioni dei motori a combustione interna. Quindi per ridurre le emissioni non è necessario solo passare all'idrogeno ma ottimizzare la produzione rendendola priva di emissioni. Molti paesi stanno investendo su l'elettrolisi con fonti di energia rinnovabili come eolica e solare. Un'altra soluzione meno costosa consiste nella produzione di "Idrogeno blu", cioè la produzione di idrogeno catturando le emissioni di CO₂ prodotte dai combustibili fossili; naturalmente questo processo non è totalmente privo di emissioni poiché la cattura della CO₂ dall'atmosfera ha un'efficienza stimata dell'85 – 90%. Resta comunque una buona soluzione per la riduzione delle emissioni.



Costo dell'elettrolisi dell'acqua



3.3.3 Metodi di stoccaggio per l'idrogeno

L'idrogeno può essere stoccato in due modi:

1. Stoccaggio fisico
2. Stoccaggio chimico

Lo stoccaggio fisico implica che gli atomi di idrogeno non interagiscano con il serbatoio. Può essere compresso o liquefatto criogenicamente. L'idrogeno compresso può essere stoccato in bombole, cisterne, microsferi di vetro e condotte.

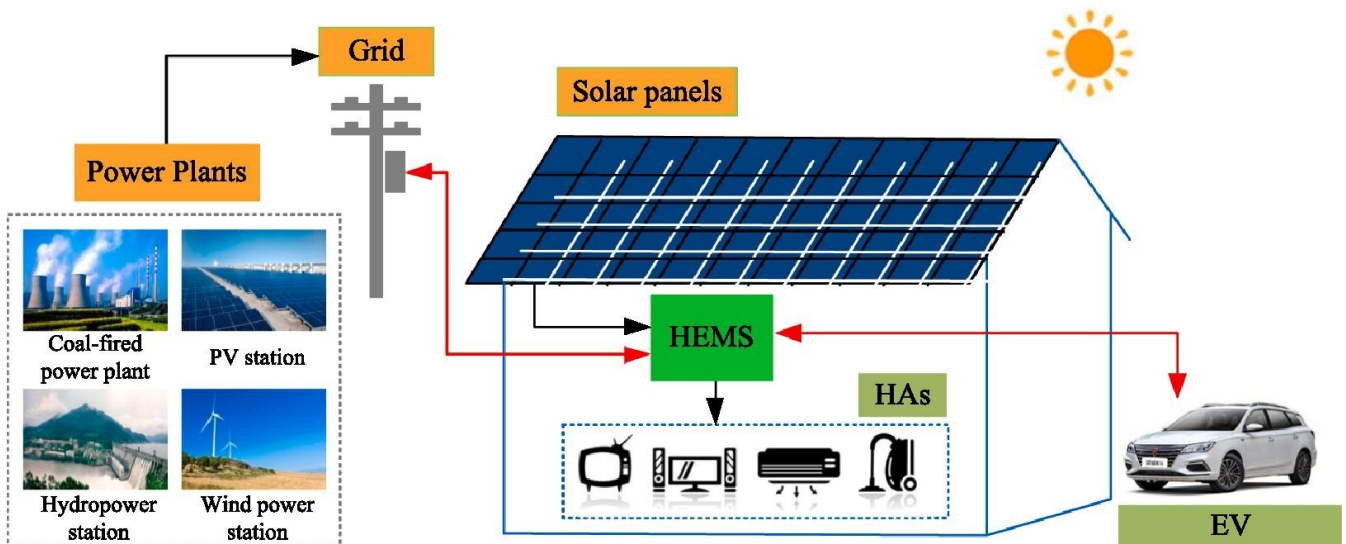
Per lo stoccaggio chimico occorre l'interazione degli atomi di idrogeno con il sistema di stoccaggio. È categorizzato come l'adsorbimento da parte di zeoliti o materiali metallico – organici. Principalmente vengono utilizzati metalli che reagiscono con l'acqua.

Il metodo più semplice per lo stoccaggio è quello fisico però richiede molta energia per comprimere o fluidificare l'idrogeno; il metodo chimico è più efficace ma è ancora in fase di sviluppo ed ottimizzazione per utilizzarlo come combustibile.[16]

3.4 Sistema Veichle – To – Home integrato con la generazione da fotovoltaico

Un'integrazione su larga scala di fotovoltaico influenza la stabilità e la sicurezza della rete, generando fluttuazioni di tensione dovuti all'immissione di energia fotovoltaica incontrollata nella rete. Un sistema di accumulo è una buona tecnica per la regolazione dei flussi variabili del fotovoltaico, ma è ancora una scelta costosa per molte famiglie. Poiché il settore dei trasporti sta lottando contro la carenza di petrolio e le emissioni di gas serra, si utilizzano sempre più veicoli elettrici (EV). Ricaricando gli EV con fonti di energia pulita si riducono le emissioni dei veicoli, altrimenti ricaricate con energia prodotta da centrali termiche a combustibili fossili,

inoltre i veicoli elettrici hanno solitamente batterie con grande capacità per abbattere il problema dell'autonomia. La distanza media percorsa da un'EV è di circa 50 km; pertanto, la batteria ha una grande capacità di stoccaggio dopo aver fornito l'energia necessaria per il viaggio. Pertanto, si può usare la batteria dell'EV come sistema di accumulo, chiamato vehicle - to - home (V2H). Il V2H fa parte della micro-rete domestica intelligente, in cui l'EV è collegato all'edificio tramite inverter bidirezionale, le fasi di carica e scarica sono ottimizzati dal sistema di gestione dell'energia domestica (HEMS). Il sistema ricarica il più possibile la batteria utilizzando energia rinnovabile ed energia dalla rete inoltre fornisce energia alla famiglia durante il periodo di picco del consumo energetico, al fine di migliorare l'efficienza energetica. Il modello HDPV (home distributed photovoltaic) – V2H (Veichle – to - Home) include principalmente EV, HDPV, sistemi di gestione dell'energia (HEMS) ed elettrodomestici. Il fotovoltaico viene utilizzato per la domanda di elettricità diurna, quando la produzione è superiore alla richiesta l'energia in eccesso può essere reimmessa in rete e la batteria dell' EV viene utilizzata come fonte di alimentazione per fornire energia quando la produzione fotovoltaica è scarsa o nulla.

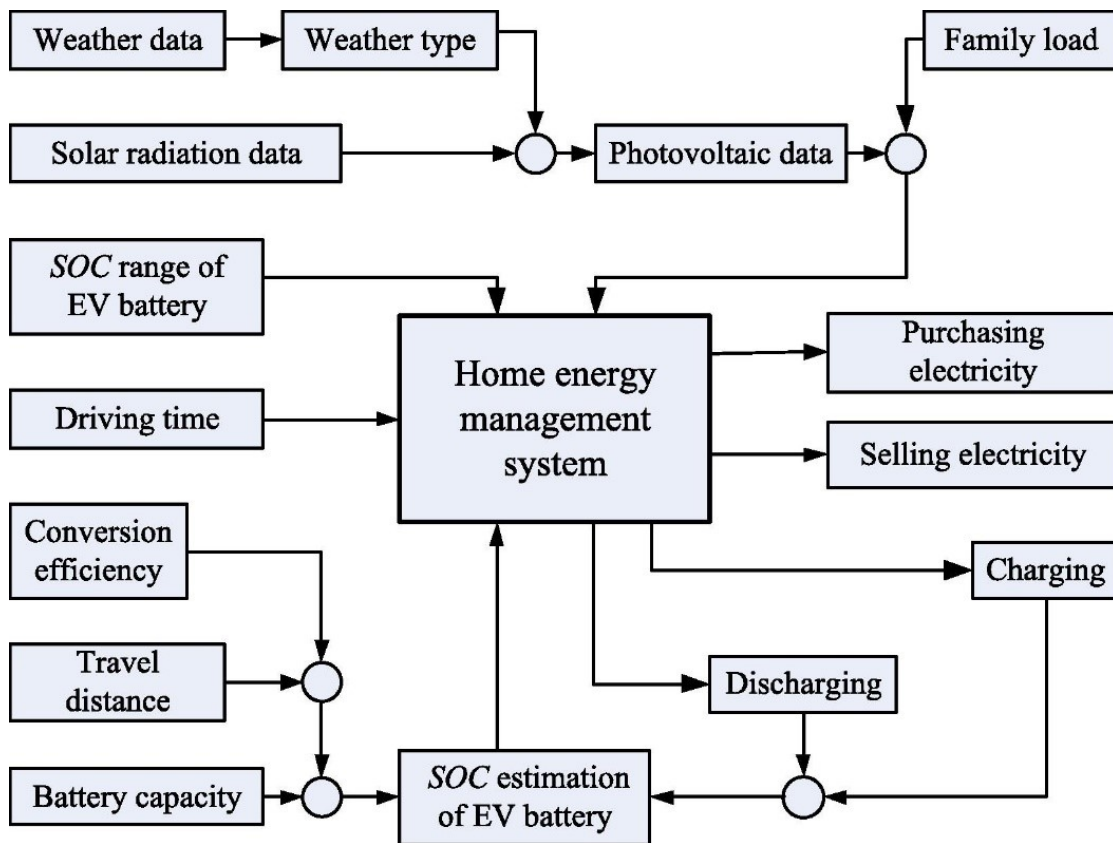


Schema del concetto HDPV – V2H

3.4.1 Modello costi – benefici e HEMS

Esistono diverse fonti di energia e carichi nel modello HDPV – V2H, come fonti di energia si considera la rete, fotovoltaico ed EV, mentre i carichi sono elettrodomestici ed EV. L'EV nel sistema V2H può essere considerato come un dispositivo mobile di accumulo di energia che fornisce l'energia necessaria all'abitazione o un carico. L' HEMS gestisce la distribuzione dell'energia per ottenere un uso efficiente dell'energia. L'obiettivo è di ridurre al minimo la spesa netta per i costi dell'elettricità domestica: $minE_{net} = S_T + C_{PV} - R_T$

dove E_{net} rappresenta la spesa netta per i costi dell'elettricità per uso domestico, S_T indica la spesa totale per l'acquisto di energia elettrica consumata da elettrodomestici e per la ricarica dell'EV, C_{PV} è il costo di installazione dell'impianto fotovoltaico, R_T indica i ricavi totali nel sistema HDPV – V2H, composti dai benefici derivanti dall'energia fotovoltaica venduta. L'HEMS invia la carica e la scarica dei veicoli elettrici raccogliendo e analizzando informazioni come il carico domestico, la previsione della generazione di energia fotovoltaica e lo stato di carica (SOC) della batteria dei veicoli elettrici e facendo assorbire la potenza fotovoltaica in eccesso all'EV. Inoltre, al fine di ridurre al minimo l'impatto negativo di una carica frequente e profonda sulla durata della batteria, è necessario monitorare efficacemente gli stati della batteria. La stima del SOC della batteria è una parte importante dell'HEMS, che influenzerà direttamente la decisione e il controllo dell'HEMS e l'utilizzo efficiente della batteria EV.



Schema HEMS nel sistema HDPV – V2H

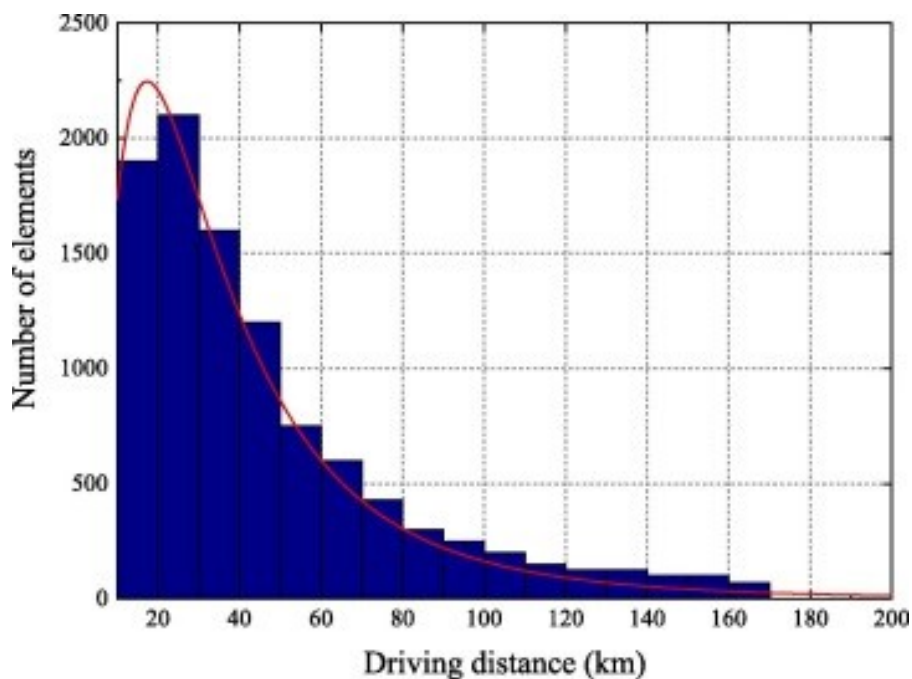
3.4.2 Strategia di programmazione per l'utilizzo dell'energia

Si presume che un EV abbia il proprio dispositivo V2H bidirezionale e che sia collegato al V2H una volta terminata la guida. Per ridurre il consumo di energia dalla rete ed utilizzare il più possibile l'energia fotovoltaica, la strategia di programmazione dell'EV deve seguire le seguenti regole:

- L'energia fotovoltaica in eccesso viene utilizzata per caricare la batteria se a casa durante il giorno.
- La batteria viene caricata dalla rete solo durante la fascia oraria più economica durante la notte.
- L'EV fornisce energia al carico solo fino a quando la capacità della batteria arriva al limite minimo di scarica.
- La profondità di scarica deve essere impostata per poter garantire l'autonomia necessaria per il prossimo viaggio.

3.4.3 Comportamento di viaggio

La maggior parte dei veicoli elettrici sono a casa dalle 8 di sera alle 7 del mattino seguente, inoltre le distanze percorse sono concentrate principalmente tra i 10 e gli 80 km giornalieri, possono essere suddivise in tre categorie: brevi distanze 10 – 80 km; medie distanze 80 – 120 km; e lunghe distanze 120 – 160 km. Per comodità consideriamo 80 km per le brevi distanze, 120 km per le medie e 160 km per le lunghe.



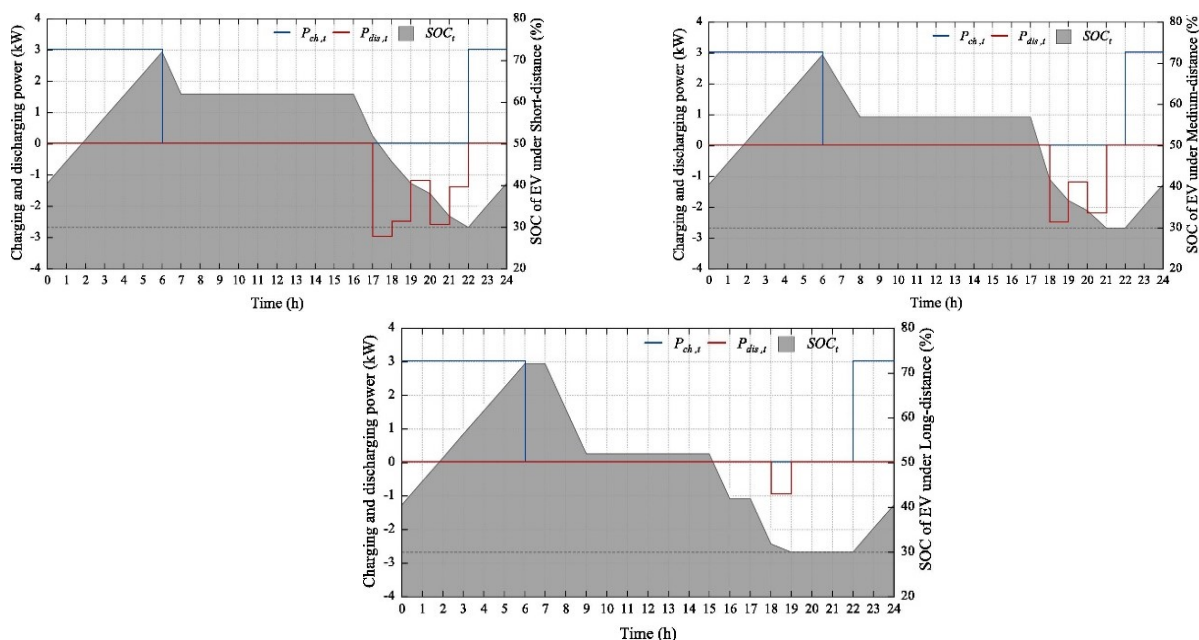
Distribuzione della distanza giornaliera di viaggio fatta da una famiglia a shanghai

A shanghai il trasporto pubblico è molto sviluppato, quindi è il mezzo di trasporto preferito dai pendolari; pertanto, le caratteristiche di viaggio delle auto private variano molto da giorni lavorativi a festivi. La tabella seguente mostra il comportamento dei veicoli elettrici privati a shanghai durante le vacanze. Il blu indica le ore di utilizzo, invece il grigio indica le ore di stallo ed il bianco indica le ore di stallo a casa. Poiché i veicoli elettrici non viaggiano molto nei giorni feriali, ed è parcheggiato a casa, può essere utilizzato come accumulo di energia.

Situations	EV travel status	Time (h)																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Workdays	Idleness																								
Holidays	Short distances																								
	Medium distances																								
	Long distances																								

Comportamento di viaggio dei veicoli elettrici a shanghai

La distanza di viaggio influenza il comportamento del sistema V2H, L'EV mantiene sempre la potenza di ricarica di 3 kW dalle 22:00 – 6:00, corrispondente alla fascia oraria più economica, alimenta la casa utilizzando potenza superiore ai 3 kW tra le 17:00 – 22:00, orario corrispondente al massimo assorbimento da parte dell'abitazione. Lo stato di carica della batteria varia dal 30 all' 80% durante la carica e la scarica, una profondità di scarica del 50 % dell'energia all' interno dell'EV può garantire distanze fino a 160 km e fornire energia all'abitazione. La potenza fornita all'abitazione tramite sistema V2H diminuisce gradualmente all'aumentare delle distanze percorse. I risultati mostrano che il sistema V2H può soddisfare l'autonomia dell'automobile per le lunghe distanze ed alimentare la casa.



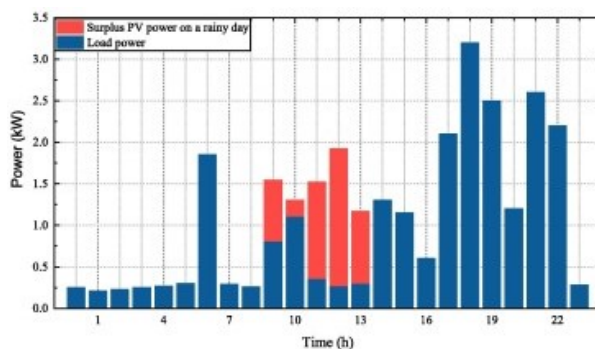
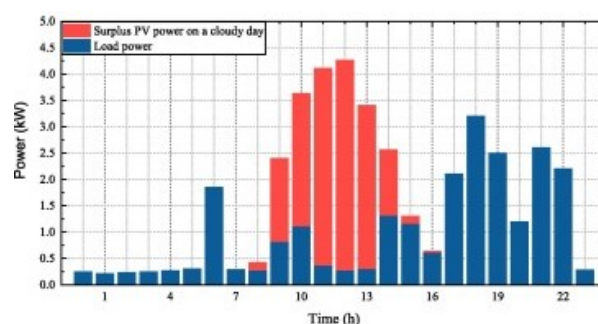
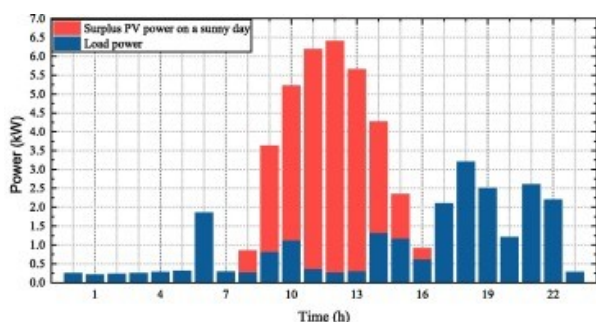
Influenza delle distanze di viaggio sul sistema V2H in una smart home

3.4.4 Tariffa HDPV e parametri del sistema

Il prezzo dell'elettricità per la rete fotovoltaica a Shanghai nel 2019 è di 0,06 \$ / kWh in base al prezzo dell'elettricità riferito al carbone locale. Il prezzo di sovvenzione del fotovoltaico è di 0,058 \$ / kWh, inoltre il prezzo del sussidio fotovoltaico nazionale è di 0,026 \$ / kWh. Pertanto, il prezzo totale del sussidio fotovoltaico degli edifici residenziali è di 0,084 \$ / kWh. I parametri di un sistema HDPV sono presentati qui sotto.

Durata del sistema HDPV (anni)	20
Capacità nominale (kW)	8
Costo dell'investimento per unità di capacità (\$ / kW)	879
Tasso di interesse dell'investimento	0.07

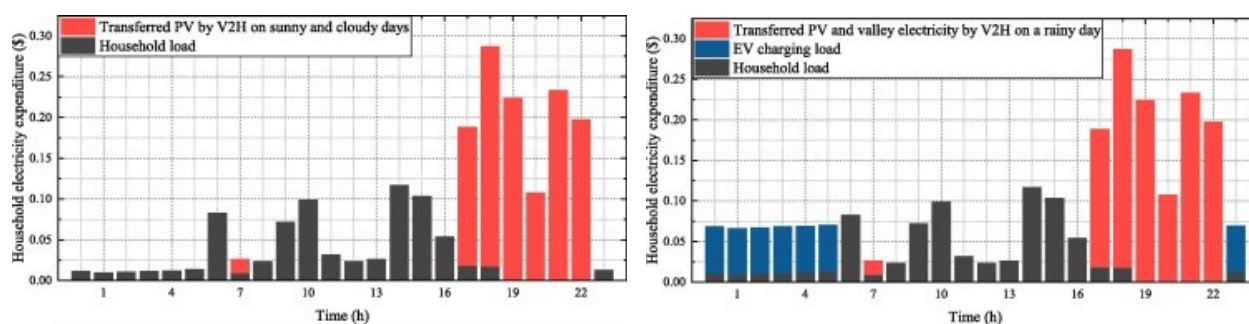
Consideriamo un consumo medio di elettricità per l'intero anno non superiore ai 3120 kWh. I prezzi dell'energia elettrica sono di 0,089 \$ / kWh per la fascia 6:00 – 22:00 e di 0,045 \$ / kWh per la fascia 22:00 – 6:00. Qui di seguito vediamo graficate le curve di potenza oraria del carico in un giorno e la curva di potenza fotovoltaica in eccesso oltre la potenza di carico in giorni soleggiati, nuvolosi e piovosi. Il picco di consumo si ha tra le 17:00 e le 22:00, mentre il massimo di potenza fotovoltaica si ha circa alle 12:00 in diverse condizioni meteorologiche.



Curva di potenza oraria del carico in un giorno e curva di potenza fotovoltaica in eccesso nei giorni soleggiati, nuvolosi e piovosi.

3.4.5 Uso efficiente dell'energia in modalità HDPV – V2H

Lo stoccaggio dell'energia fotovoltaica in eccesso al periodo di picco non solo può fornire un utilizzo efficiente dell'energia verde, ma dare ulteriori vantaggi economici nella modalità HDPV-V2H. Ci sono due casi da discutere. Un caso è che il periodo di generazione di energia fotovoltaica spesso si sovrappone al tempo di viaggio dei veicoli elettrici durante le vacanze, l'altro è che l'EV inattivo a casa può essere utilizzato come sistema di accumulo di energia nei giorni lavorativi. Le condizioni meteorologiche hanno un impatto importante sul pieno utilizzo dell'energia verde e sulle entrate del V2H in modalità HDPV-V2H nei giorni lavorativi. I grafici successivi mostrano il consumo di elettricità domestica riallocato in modalità HDPV-V2H in diverse condizioni meteorologiche in una giornata lavorativa. Si può vedere che la modalità HDPV-V2H può coprire completamente la domanda di elettricità richiesta dal carico domestico nelle giornate soleggiate e nuvolose senza elettricità aggiuntiva dalla rete, tuttavia, non è sufficiente a supportare la domanda di carico domestico a causa della bassa potenza fotovoltaica nei giorni di pioggia. Il carico domestico ha ancora bisogno di energia elettrica dalla rete per il periodo di punta. In ogni caso, l'utenza dotata del sistema HDPV-V2H non ha più bisogno dell'elettricità di rete nelle ore di punta dalle 6:00 alle 22:00. Pertanto, si può vedere che la modalità HDPV-V2H contribuisce bene a risparmiare sui costi dell'elettricità, al risparmio energetico e alla riduzione delle emissioni.



Consumo di elettricità riallocato in modalità HDPV – V2H in diverse condizioni meteo in una giornata lavorativa

3.4.6 L'impatto del V2H e del fotovoltaico sulla spesa annua netta per l'energia elettrica

La spesa netta annuale di elettricità delle famiglie con il fotovoltaico è nettamente inferiore rispetto a quelle senza fotovoltaico, sebbene l'installazione del fotovoltaico aumenti i costi. Inoltre, la spesa netta annuale aumenta con la distanza di viaggio dei veicoli elettrici. La spesa netta annua con il fotovoltaico ha una riduzione del 46,4%, 44,1%, e 41,2% sui viaggi brevi, medi e lunghi. La spesa netta annua in modalità HDPV - V2H per i viaggi a breve distanza diminuisce del 68,5%, 55,1%, 51,2%. L'integrazione del V2H con l'HDPV ha notevoli vantaggi economici ed ha un'elevata fattibilità economica a Shanghai. [15]

Conclusione

Finora si è cercato di abbattere l'inquinamento cercando di ottimizzare al meglio i motori a combustione interna a benzina o diesel, anche adottando Metano e Gas Propano Liquido (GPL). Nell'ultimo periodo, come si legge dal capitolo 2, molte nazioni hanno iniziato ad utilizzare biocombustibili miscelati con i comuni combustibili fossili, il bioetanolo viene miscelato in parte con la benzina e il biodiesel viene miscelato con il diesel; alcuni paesi come il Brasile hanno iniziato ad utilizzare i biocarburanti in percentuale elevata e in alcuni casi viene utilizzato biocarburante puro adeguando le componenti del motore a combustione interna e le varie componentistiche come tubi, guarnizioni ecc. Questa soluzione aiuta molto al calo degli inquinanti in atmosfera, però sembra non sia abbastanza. Infatti, molti paesi come l'Europa hanno iniziato a vietare la produzione e la commercializzazione di veicoli a combustione interna dal 2030, il settore dei veicoli elettrici e ibridi è ad oggi in rapida evoluzione sia a livello tecnologico che di mercato. Dopo un periodo piuttosto stazionario che ha visto la ricerca da parte delle Case focalizzata principalmente nel rendere più efficienti e più "puliti" i motori endotermici, l'attuale interesse nel contrasto ai cambiamenti climatici e gli obiettivi fissati a anche livello internazionale con l'Accordo di Parigi sottoscritto il 12 dicembre 2015, hanno condotto ad una rapida "corsa all'elettrificazione" dei trasporti che, porterà nel corso di un decennio a rivoluzionare il mercato dell'automobile [17] come si vede dal grafico delle vendite di veicoli elettrici presente al capitolo 3. Però a causa di alcuni svantaggi delle auto elettriche come le lunghe attese per la ricarica e di conseguenza l'allungarsi dei viaggi, si stanno valutando altri combustibili ad esempio l'idrogeno che, in futuro giocherà un ruolo chiave nella mobilità soprattutto utilizzando fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica necessaria all'elettrolisi, e gli E-fuels carburanti che hanno l'obiettivo di salvaguardare il motore a combustione interna avendo impatto ambientale quasi pari a zero e utilizzando i sistemi di rifornimento già esistenti. Tutti i carburanti e i sistemi di accumulo visti sopra sono utilizzati ora e in futuro per la riduzione degli inquinanti e per l'ottimizzazione della mobilità.

Ringraziamenti

Alla fine di questo percorso, mi sembra doveroso dedicare uno spazio per ringraziare che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso percorso universitario.

Le prime persone a cui devo dire grazie per questo traguardo sono la mia famiglia, fonte di sostegno e di coraggio, che mi hanno dato la voglia di raggiungere questo traguardo. Senza di loro non avrei avuto la possibilità di studiare e di scrivere questo elaborato.

Un grazie va a Diana, la persona che più di tutte è stata capace di sostenermi nei momenti difficili. Grazie a lei ho avuto il coraggio di mettermi in gioco e di capire che, in fondo, gli ostacoli esistono per essere superati

Un grazie va agli amici di sempre Andrea, Nicolò e Stefano che mi hanno aiutato nel mio percorso accademico aiutandomi in argomenti per me di difficile comprensione, e agli amici conosciuti all'università e in aula studio, le persone con cui ho condiviso attimi di gioia e tristezza, senza di loro sarebbe stato tutto più cupo: grazie per avermi trasmesso l'entusiasmo necessario e il coraggio di affrontare le mie difficoltà.

Un ringraziamento va anche al mio Relatore, professor Giorgio Pavesi, che mi ha permesso di svolgere questo progetto, accettando fin da subito il mio progetto.

Riferimenti Bibliografici

- [1] Le emissioni di CO₂ dei trasporti; IEA (2022), *Trasporti*, IEA, Parigi <https://www.iea.org/reports/transport>, Licenza: CC BY 4.0
- [2] IEA, Global CO₂ emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario, 2000-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>, IEA. Licenza: CC BY 4.0
- [3] IEA, Energy consumption in transport by fuel in the Net Zero Scenario, 2000-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-consumption-in-transport-by-fuel-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>, IEA. Licenza: CC BY 4.0
- [4] IEA (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0
- [5] Girardi, Pierpaolo, Cristina Brambilla, and Giulio Mela. "Life Cycle Air Emissions External Costs Assessment for comparing Electric and traditional passenger cars." *Integrated environmental assessment and management* (2019)
- [6] R.J. Pearson, J.W.G. Turner, 2 - The role of alternative and renewable liquid fuels in environmentally sustainable transport, Editor(s): Richard Folkson, *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance*, Woodhead Publishing, 2014
- [7] G. Di Blasio et al. (eds.), *Clean Fuels for Mobility, Energy, Environment, and Sustainability*, https://doi.org/10.1007/978-981-16-8747-1_2
- [8] N. K. Aggarwal et al., *Bioethanol Production, Green Chemistry and Sustainable Technology*, https://doi.org/10.1007/978-3-031-05091-6_1
- [9] N. K. Aggarwal et al., *Bioethanol Production, Green Chemistry and Sustainable Technology*, https://doi.org/10.1007/978-3-031-05091-6_13
- [10] N. K. Aggarwal et al., *Bioethanol Production, Green Chemistry and Sustainable Technology*, https://doi.org/10.1007/978-3-031-05091-6_15
- [11] *Biodiesel Production: Feedstocks, Catalysts, and Technologies*, First Edition. Edited by Samuel Lalthazuala Rokhum, Gopinath Halder, Suttichai Assabumrungrat, and Kanokwan Ngaosuwan. © 2022 John Wiley & Sons Ltd. Published 2022 by John Wiley & Sons Ltd
- [12] Laura E. Hombach, Larissa Doré, Katrin Heidgen, Heiko Maas, Timothy J. Wallington, Grit Walther, Economic and environmental assessment of current (2015) and future (2030) use of E-fuels in light-duty vehicles in Germany, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, 2019, Pages 153-162
- [13] A. K. Agarwal and H. Valera (eds.), *Greener and Scalable E-fuels for Decarbonization of Transport*, Energy, Environment, and Sustainability, https://doi.org/10.1007/978-981-16-8344-2_2
- [14] Fazel Mohammadi, Mehrdad Saif, A comprehensive overview of electric vehicle batteries market, *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, Volume 3, 2023, 100127, ISSN 2772-6711, <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100127>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671123000220>)

[15] Jianhong Chen, Youlang Zhang, Xinzhou Li, Bo Sun, Qiangqiang Liao, Yibin Tao, Zhiqin Wang, Strategic integration of vehicle-to-home system with home distributed photovoltaic power generation in Shanghai, *Applied Energy*, Volume 263, 2020, 114603, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114603>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030115X>)

[16] *Hydrogen Electrical Vehicles*, Emre Erdem, Mohamad Hasan Aleinawi, Ameen Uddin Ammar, John Wiley and Sons, Feb 10, 2023

[17] *Veicoli elettrici e ibridi: evoluzione tecnologica, proposte attuali e prospettive di sviluppo*, Andrea Salata, Università degli studi di Padova, Anno Accademico 2020/2021