

LUISS 

Laurea magistrale in Strategic Management

Corso di Dinamiche Industriali

**“L’evoluzione del settore automobilistico:
analisi dei brevetti per i carburanti del
futuro”**

Prof. Pompei

Relatore

Prof.ssa Meliciani

Correlatrice

Augusto Dore

Candidato

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO 1: INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED EVOLUZIONE DEL MOTORE A SCOPPIO	5
1.1 Paradigmi tecnologici	5
1.2 Traiettorie tecnologiche	9
1.3 Innovazione tecnologica	12
1.4 Driver dell'innovazione	13
1.5 Tipologie di innovazione	15
1.7 Discontinuità tecnologiche	25
1.8 Il settore automobilistico	29
1.9 Motore a combustione interna	31
CAPITOLO 2: I CARBURANTI DEL FUTURO	35
2.1 Motore a combustione interna	35
2.2 Motore a combustione interna	38
2.3 Motori ibridi	40
2.4 Motori elettrici	46
2.5 Motori a idrogeno	52
2.6 I biocarburanti	56
2.7 E-fuels	63
2.8 Differenze tra E-fuels e Biocarburanti	65
CAPITOLO 3: ANALISI DEI DATI SUI BREVETTI NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO	66
3.1 Metodologia	66
3.2 Analisi dei dati e commenti	68
3.2.1 Brevetti per la categoria Road Transport	69
3.2.2 Brevetti per la categoria Conventional Vehicles (CV)	74
3.2.3 Brevetti per la categoria Energy Storage (ES)	79
3.2.4 Brevetti per la categoria Hybrid/Electric Vehicles (H-EL)	83
3.2.5 Brevetti per la categoria Hydrogen/Fuel Cell (H-FC)	87
3.2.6 Brevetti per la categoria Fuel Efficiency	92
CONCLUSIONI	95
BIBLIOGRAFIA	97

INTRODUZIONE

Il presente lavoro si propone di analizzare i dati relativi ai brevetti nel settore automobilistico con il fine di provare ad individuare quale tecnologia potrà diventare maggiormente rilevante per le auto del futuro. Per condurre lo studio verrà analizzato un campione di dati estratti database dell'”OECD Statistics”, una piattaforma che è in grado di fornire informazioni statistiche collegate ai vari contesti del modo economico. Nel nostro caso ci soffermeremo solo su alcuni scenari dell'industria dell'auto che, ad oggi, è una delle industrie più importanti per il progresso della società, ma che al momento sembra che stia suscitando notevoli preoccupazioni per la vita dell'uomo. Da anni, ormai, si è acceso un dibattito sempre più forte sul ruolo centrale svolto dal settore energetico ed in particolare ci si sta focalizzando sul fatto che le fonti energetiche, oltre ad essere più economiche e accessibili all'uomo, devono essere sostenibili dal punto di vista ambientale. Proprio su quest'ultimo aspetto, il settore dell'automotive sembra ancora lontano dagli obiettivi ambientali che i governi di tutto il mondo hanno prefissato di raggiungere nel giro di pochi anni e, pertanto, molti paesi si sono mobilitati per trovare nuove soluzioni tecnologiche in grado di rispettare l'ambiente. Il settore dei trasporti è di fondamentale importanza per l'uomo, poiché facilita il trasporto di persone e merci in ogni parte del mondo. Nel corso del tempo, infatti, è aumentata la domanda di trasporti soprattutto nelle grandi città in cui c'è maggiore concentrazione di veicoli ed è impensabile che per gli anni a venire questo settore sia ancora dipendente da fonti energetiche come il petrolio. Oggigiorno, l'industria dell'auto è fondata quasi del tutto sui motori a combustione interna (ICE) alimentati a diesel o benzina e che costituiscono il 95% dei veicoli in circolazione. Proprio per questa ragione le case automobilistiche stanno provando ad implementare nuove strategie basate sull'utilizzo di *carburanti green* nei veicoli con l'obiettivo finale di ridurre l'inquinamento atmosferico. Però, come vedremo, le motivazioni che hanno spinto a cercare nuove fonti energetiche sono collegate ad altre problematiche come la sicurezza energetica e l'esaurimento dei combustibili fossili.

Per effettuare questa analisi il lavoro verrà suddiviso in tre parti, ognuna delle quali farà riferimento a concetti teorici e scenari economici differenti. Nel primo capitolo verranno trattate le tematiche relative all'innovazione tecnologica e all'importanza svolta per l'evoluzione del settore automobilistico. Come vedremo al concetto di innovazione sono state date varie definizioni, come quella data da Schumpeter in cui dice che innovare vuol dire creare nuovi beni o nuovi metodi di produzione, simile a quanto invece viene detto in letteratura. Però, quando un'azienda o un ente cerca di innovare, la decisione viene presa sulla base di alcune variabili che influenzano il percorso da seguire, per esempio: le tecnologie emergenti in grado di raggiungere nuovi obiettivi; oppure, quando un competitor mette in atto nuove strategie che sconvolgono il mercato, le altre rispondono (meccanismo di azione-reazione) con l'introduzione di nuove soluzioni tecnologiche innovative;

ancora, quando si verificano cambiamenti nell'ambiente esterno nel momento in cui si verifica un cambiamento della domanda e un cambiamento nelle preferenze dei consumatori. In quel caso, le industrie si muovono per cercare di creare nuovi beni o servizi che siano in grado di soddisfare questi cambiamenti. A quel punto, tra le varie tecnologie in grado di generare nuovi beni o servizi, solamente una sarà quella dominante, tanto da indirizzare l'avanzamento tecnologico verso una particolare traiettoria tecnologica. Quest'ultimo concetto è quello che fa riferimento allo studioso Dosi che, con le sue teorie, cerca di spiegare come funzionano gli avanzamenti tecnologici che, grazie alle conoscenze e al know-how, portano all'affermarsi del paradigma tecnologico. Nella parte finale del primo capitolo viene fatta prima una panoramica sull'evoluzione del settore automobilistico nel tempo, poi un focus sul motore a combustione interna che, per anni, è stato il protagonista del settore automobilistico.

Nel secondo capitolo, invece, partendo dagli impatti negativi causati dai carburanti che derivano dai combustibili fossili, si discuterà sia sui motori dei veicoli convenzionali che dei motori del futuro come l'elettrico, l'ibrido, l'idrogeno, gli e-fuels e i biofuels. Per ciascuna categoria di veicoli verranno illustrate le caratteristiche tecniche del motore, le performance, i costi, le infrastrutture e tutti i benefici e le problematiche dalla loro adozione. Inoltre, così come nella parte conclusiva dell'elaborato, verranno fatti dei confronti tra i vari motori, mettendo in evidenza i loro punti di forza e/o di debolezza.

Il terzo capitolo riguarda il commento e l'analisi dei dati, in cui nella prima parte, dopo aver spiegato brevemente il concetto di brevetti, viene mostrata la procedura di estrazione dei dati. Questi ultimi, una volta ottenuti, sono stati elaborati seguendo le medesime procedure ed effettuando le stesse analisi. Sono state esaminate varie categorie di brevetti per auto come la categoria dei Road transport che è quella che riguarda tutti i brevetti per auto, poi a seguire saranno analizzati i brevetti nei veicoli convenzionali, successivamente i brevetti per veicoli ibridi/elettrici, quelli ad idrogeno e la categoria dei fuel efficiency e dell'energy storage. Per ciascuna categoria verranno analizzati i paesi OECD e, per ognuno di questi, sarà calcolato il livello di specializzazione in una specifica tecnologia; inoltre, i risultati ottenuti saranno oggetto di confronto con la letteratura.

Infine, l'ultima parte sarà dedicata alle considerazioni conclusive che cercheranno di far capire quale trend e quale tecnologia indirizzerà il progresso tecnologico nel settore automobilistico.

CAPITOLO 1: INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED EVOLUZIONE DEL MOTORE A SCOPPIO

1.1 Paradigmi tecnologici

Con il termine "paradigma tecnologico" si intende l'insieme di conoscenze che vengono impiegate per la risoluzione di problemi che si manifestano durante il progresso di una specifica tecnologia e indica come quest'ultima viene sviluppata e implementata in un determinato contesto. I paradigmi tecnologici seguono principi e modelli che guidano l'innovazione e fungono da ponte per quei soggetti e individui che condividono le stesse idee, al fine di trovare una soluzione comune ai problemi. Ciascun paradigma si basa su particolari principi chimici o fisici, tecniche di ricerca e, talvolta, anche progetti standard dei prodotti creati all'interno del paradigma stesso. Questo fa sì che all'interno di un paradigma emerga un "design dominante" rispetto al quale le industrie producono particolari artefatti con un'architettura ben definita e caratterizzati da elementi specifici. Oltre alla componente fisica però, i paradigmi tecnologici consentono di adottare criteri di valutazione per identificare quali aspetti possono essere migliorati e quali percorsi bisogna evitare.

In particolare, ci sono tre elementi che stanno alla base del paradigma tecnologico: il primo è quello relativo alla conoscenza pratica, quindi tutta la parte relativa all'esperienza accumulata sul campo con degli esperimenti, per esempio. Il secondo riguarda un'idea o un concetto particolare di come dovrebbe apparire il prodotto o il risultato finale in un processo creativo o produttivo; è fondamentale che si comprenda quale obiettivo si desidera raggiungere e quale strategia permette di realizzarlo. Infine, è importante che ci sia una particolare area di competenza che sia in grado di comprendere la conoscenza individuale e quella comune tra i professionisti di un campo specifico.

Partendo dalle teorie di un economista e studioso italiano di nome Giovanni Dosi, il quale ha ampiamente contribuito allo studio dell'innovazione e del cambiamento tecnologico, ha definito il *"Paradigma tecnologico come l'insieme di credenze, valori e pratiche che guidano la ricerca di soluzioni ai problemi tecnici"*¹. Lo studioso, nel 1982, ha realizzato un articolo che ancora oggi è di fondamentale importanza e che ha costituito le basi della cosiddetta "Economia evolutiva". La sua idea di pensiero è partita dalle teorie di un altro studioso di nome Thomas Khun, dove all'interno del suo libro spiega come avviene l'evoluzione della scienza e l'importanza che questa assume nel contesto industriale, per poi arrivare a dare la definizione di paradigma tecnologico. Però, quello che Dosi non ritiene corretto è che non viene evidenziato che la tecnologia ha un ruolo chiave a seguito delle evoluzioni avvenute nel corso del tempo.

Pertanto, l'economista riparte proprio da questo aspetto e decide di unire le teorie kuhniiane sui paradigmi tecnologici con quelle della ricerca scientifica e delle traiettorie tecnologiche. All'interno dell'articolo di Dosi vengono analizzati due aspetti correlati tra loro:

- In primo luogo, ci parla della relazione tra l'attuale comprensione del progresso tecnologico rispetto alle visioni neoclassiche. Quest'ultima spiega che l'innovazione tecnologica dipende dalla domanda di mercato, la cosiddetta teoria "market-pull", e che i consumatori vengono soddisfatti con beni e servizi che non sono ancora presenti sul mercato. A questo desiderio segue un'aspettativa di prezzo che i consumatori riconoscono e per cui sarebbero disposti a pagare una volta che tali prodotti vengono immessi nel mercato. Da quel momento ciò che fanno le aziende produttrici di beni e servizi, è di captare/ricevere questi segnali in modo da corrispondere le richieste dei clienti. Però, quello che Dosi prima analizza e poi critica è che, nonostante venga riconosciuto il bisogno richiesto dal consumatore, non viene spiegato con quale mezzo viene soddisfatto. Ecco che allora lo scienziato interviene dicendo che non viene considerata l'importanza che ha sia la tecnologia presente "sullo scaffale" (cioè la tecnologia già esistente) che la nuova tecnologia, per la realizzazione dell'output finale. Ovviamente, qualora l'attuale tecnologia non fosse sufficiente per la realizzazione del prodotto, l'industria si deve muovere per trovare una nuova tecnologia che sia in grado di farlo.
- In secondo luogo, spiega come il concetto di paradigma si relaziona alle capacità dinamiche di un'azienda. In questo caso, il paradigma tecnologico ci aiuta a capire come un'industria possa sia impiegare le risorse in modo efficiente, che rispondere in maniera rapida ai mutamenti della domanda di mercato attraverso nuove strategie. Questo principio fa riferimento al dinamismo aziendale e alle capacità che un'azienda ha di riutilizzo e rielaborazione delle risorse per innovare e soddisfare le nuove richieste presenti nel mercato. Dosi, però, spiega come non ci si possa basare sui segnali di prezzo per impiegare le risorse finalizzate alla produzione di nuovi beni e servizi. Piuttosto, l'intuizione di nuove opportunità deve essere eseguita dagli imprenditori dell'azienda attraverso gli strumenti e conoscenze interne come, per esempio, le attività di ricerca interne, di sperimentazione o analisi. Tutte le attività di questo genere, avvengono all'interno del paradigma, ma è anche vero che per trovare nuove soluzioni innovative per risolvere un problema è necessario uscire dal paradigma stesso.

In merito alla prima tematica trattata da Dosi sulla teoria dell'innovazione "market-pull", spiega che l'innovazione tecnologica dipende dalla domanda di mercato e che tale relazione ostacola lo sviluppo e il finanziamento della scienza pubblica. Pertanto, questo filone di pensiero ha portato i vari modelli di innovazione guidati dalla scienza ad essere "trascurati" perché visti come investimenti troppo costosi, nonostante ci fossero degli studi empirici che già avevano dimostrato quanto fosse

fondamentale l'attività di ricerca e sviluppo per favorire l'innovazione. L'economista, a tal proposito, sottolinea che generalmente l'innovazione avveniva tramite esperimenti spesso errati, ma che servivano per acquisire nuove conoscenze e per migliorare l'apprendimento. Quindi, dimostra che la teoria "market-pull" sbagliava a non supportare economicamente la scienza che, in situazioni come quelle dell'innovazione caratterizzata da imprevedibilità e insicurezza, era l'unico strumento che avrebbe potuto far fronte a circostanze di questo tipo. A sostegno della sua tesi Dosi parla anche delle idee e delle teorie scientifiche, poiché da un lato ritiene che siano più vicine al suo pensiero in quanto comprendono l'importanza che ha la ricerca per l'innovazione, ma dall'altro lato le critica perché non è d'accordo sul fatto che la scienza da sola sia sufficiente.

Nell'articolo dell'economista statunitense Richard R. Nelson, "Factors affecting the power of technological paradigms", viene proprio sottolineata l'importanza che ha la scienza a supporto della tecnologia ed in particolare quanto sia fondamentale il know-how per comprendere al meglio la tecnologia che si sta analizzando. Nella prima parte viene discusso che, grazie ad un corpo di conoscenze più teoriche, è possibile capire come funziona la natura della pratica e che, una volta capita la sua dinamica, è possibile individuare quali sono gli elementi da sfruttare della tecnologia che consentono di superarne i suoi limiti e di perfezionarla nel tempo. Questo è importante perché negli ultimi 25 anni, nel periodo della cosiddetta quarta rivoluzione industriale, le tecnologie principali riferite a determinati ambiti come quello della scienza e dell'ingegneria, richiedono una solida base di conoscenze e di comprensione teoriche rispetto a prima, dove nella maggior parte dei casi il know-how professionale era acquisito tramite la pratica come esperimenti e/o prove in laboratorio. A questo primo punto analizzato da Nelson si collega un altro aspetto fondamentale: la possibilità di avere un progresso rapido o lento della tecnologia che, grazie agli strumenti e le conoscenze a disposizione, permette di individuare quali sono gli elementi che condizionano il risultato finale. Lo studioso ci dice che coloro che implementano una pratica, oltre al fatto che sono dei professionisti in quello che fanno, devono essere necessariamente abili ad identificare e amministrare ciò che stanno svolgendo, in modo tale da essere in grado di recuperare e indirizzare la pratica nel verso giusto nel caso in cui si stia procedendo in maniera errata. Quindi, ciò che risulta importante è sicuramente l'aspetto pratico e l'esperienza che ne deriva da tale "attività", ma prima di procedere in questa direzione è importante avere una base conoscitiva teorica che permetta di analizzare, gestire e reiterare l'esperienza stessa. Una volta che questa prima condizione è soddisfatta, l'altro punto che segue è quello relativo all'analisi dei risultati ottenuti per cui bisogna selezionare quali criteri di valutazione adottare rispetto alla pratica svolta. Se i criteri che vengono scelti sono errati, allora anche l'esperimento sarà errato, ma dal momento in cui i criteri selezionati sono corretti, affinché questo punto sia soddisfatto, anche il primo punto deve essere svolto correttamente.

Quindi, si può ricapitolare l'importanza che il know-how svolge per comprendere al meglio la tecnologia di riferimento nel seguente modo: se si è in possesso di una solida conoscenza teorica, allora si è in grado di comprendere al meglio una tecnologia. A quel punto bisogna identificare i criteri di valutazione delle prestazioni che permettono poi di individuare e replicare in modo efficace la pratica. Se le condizioni appena descritte sono rispettate, si possono sostenere importanti paradigmi tecnologici a supporto della pratica.

In generale, i paradigmi tecnologici e la scienza sono interconnessi e si incrociano tra di loro poiché i paradigmi tecnologici sono fondati sulla conoscenza e sulla ricerca scientifica ed è proprio attraverso quest'ultimo aspetto che è possibile esplorare nuovi paradigmi. All'opposto, può essere il paradigma stesso che influenza la ricerca scientifica, la quale viene indirizzata verso obiettivi ben precisi, dando origine a nuove metodologie di scoperta e a nuovi metodi di analisi dei dati. Il rapporto che si crea tra paradigmi tecnologici e scienza è sia complesso che dinamico e genera un flusso bidirezionale in cui i progressi dell'uno portano spesso a quelli dell'altro.

Infine, bisogna analizzare un altro punto fondamentale legato al concetto di paradigma tecnologico che è quello del tipo di innovazione che subisce la tecnologia (ulteriormente approfondito nel corso del seguente capitolo). Questo è importante perché ci sono vari tipi di innovazione, ma due in particolare hanno degli aspetti più rilevanti che verranno ripresi anche nel concetto di "Design dominante": l'innovazione incrementale e l'innovazione radicale. Solitamente l'innovazione che si verifica all'interno di un paradigma è di tipo incrementale, in quanto consente di migliorare i prodotti/processi al fine di renderli più efficienti dal punto di vista economico e temporale. Invece, quando l'innovazione tecnologica è radicale/drastica, questo comporta ad un'uscita dal paradigma. A questo si ricollega il concetto di dinamismo che ci ha spiegato Dosi in cui dice che i paradigmi tecnologici non sono statici, ma dinamici, che si evolvono con il tempo e che la tecnologia viene riadattata in base alle circostanze ambientali, sociali ed economiche del momento. A seconda delle circostanze, quindi, ci possono essere dei cambiamenti che mirano ad ottenere nuove innovazioni, nuove industrie e anche nuovi modi di combinare la tecnologia, la quale viene sviluppata e implementata in maniera differente. Nel momento in cui c'è un paradigma tecnologico che domina su tutti gli altri, allora il progresso tecnologico segue quella che viene definita "traiettoria tecnologica". Tra una serie di paradigmi che si sviluppano lungo uno stesso periodo storico, solamente uno prevarrà su tutti gli altri tanto da rendere la tecnologia più efficiente e precisa rispetto ad una particolare gamma di esigenze richieste consumatori. Inoltre, l'affermarsi del paradigma è dettato da quella che viene definita come "Evoluzione" della tecnologia, che può comportare anche cambiamenti improvvisi del paradigma stesso a causa di innovazioni dirompenti, creando nuove opportunità. I paradigmi, pertanto, si riferiscono agli approcci dominanti o prevalenti allo sviluppo

tecnologico all'interno di un particolare settore/campo, in un determinato periodo storico. Nel corso degli anni, sono emersi diversi paradigmi che sono stati poi sostituiti da nuovi sulla base dei progressi e delle innovazioni tecnologiche.

In sintesi, i paradigmi tecnologici sono un concetto importante per comprendere l'evoluzione della tecnologia e il suo impatto su imprese, industrie e società. Sono in continua evoluzione e cambiano nel tempo e le aziende e la società devono essere in grado di adattarsi ai nuovi cambiamenti per rimanere competitivi e crescere in un panorama tecnologico in rapida evoluzione.

1.2 Traiettorie tecnologiche

Nel paragrafo precedente abbiamo visto che esistono vari paradigmi tecnologici che possono favorire lo sviluppo di una determinata tecnologia, ma solo uno sarà quello dominante che indirizzerà l'avanzamento tecnologico lungo una specifica traiettoria tecnologica. Pertanto, con il termine traiettoria tecnologica si intende la direzione intrapresa da una tecnologia durante il suo processo evolutivo, attraverso percorsi di sviluppo progressivi e di miglioramento nel tempo, ma può essere definita anche come un insieme di possibili direzioni tecnologiche i cui confini esterni sono definiti dalla natura del paradigma stesso. Inoltre, dato che all'interno di un paradigma vengono individuati i beni e servizi domandati sul mercato, le traiettorie sono considerate come l'ottimizzazione delle risposte degli utenti finali rispetto alle loro esigenze.

Di solito, i percorsi di sviluppo e miglioramento seguiti dalla tecnologia vengono condizionati non solo da fattori interni, ma anche da fattori esterni come scoperte scientifiche, fattori economici e sociali. In ogni caso, entrambi i fattori possono formare delle traiettorie tecnologiche con caratteristiche specifiche, per esempio:

- Possono esistere "traiettorie" più generiche o più specifiche, più forti o meno forti.
- Può esserci complementarità tra le varie traiettorie (per esempio ci può essere una forte complementarità tra le varie forme di conoscenza o di esperienza). Questa condizione non è sempre vera perché, talvolta, l'affermarsi di una tecnologia può ostacolare lo sviluppo di altre tecnologie.
- La traiettoria può raggiungere un picco chiamato "frontiera tecnologica", il quale rappresenta il livello massimo che può essere raggiunto lungo una traiettoria tecnologica rispetto alle dimensioni tecnologiche ed economiche rilevanti.
- Il "progresso" lungo una traiettoria tecnologica tende a presentare caratteristiche cumulative, il che significa che la probabilità che in futuro ci siano dei nuovi progressi è legata alla posizione attuale di un'impresa o di un Paese rispetto alla frontiera tecnologica esistente.

- Nei casi in cui una traiettoria è particolarmente "forte", può essere difficile passare ad una nuova traiettoria. Inoltre, quando due traiettorie sono comparabili per alcuni aspetti, la frontiera della nuova traiettoria può essere più distante di quella della vecchia rispetto ad alcune o a tutte le dimensioni comuni.
- Non è detto che sia sempre possibile confrontare e valutare a priori la superiorità di una traiettoria tecnologica rispetto ad un'altra. I criteri di valutazione possono essere identificati a posteriori, ma non a priori ed è anche per questa ragione che l'attività di ricerca è incerta, a prescindere dalle valutazioni di mercato svolte sulla base degli indicatori tecnologici.
- Le traiettorie tecnologiche di solito sono plasmate dai paradigmi tecnologici dominanti dell'epoca, ma dall'altra possono sconvolgere i paradigmi tecnologici esistenti, portando alla nascita di nuovi paradigmi.

Quelle appena elencate sono alcune caratteristiche rilevanti delle traiettorie tecnologiche, ma ci sono anche altri aspetti importanti. Per esempio, il fatto che i percorsi dell'innovazione guidano e limitano la creazione di nuove idee e approcci, questi non ne impediscono completamente la nascita. Tali percorsi, in genere, stabiliscono i confini di ciò che è fattibile da ciò che non è fattibile e modellano la ricerca di nuove innovazioni secondo una direzione ben definita. In secondo luogo, poiché questi percorsi di innovazione sono condivisi da una comunità più ampia di imprese e professionisti, essi forniscono un buon strumento per ridurre l'incertezza su ciò che il futuro può riservare in merito ai progressi tecnologici. Tuttavia, questo vuol dire che attualmente non si è in grado di avere una previsione certa dei tempi e dei costi necessari per raggiungere queste nuove frontiere e nemmeno delle probabilità di successo per coloro che perseguono questi obiettivi. Infatti, nonostante alcuni modelli di progresso siano più prevedibili di altri, rimangono comunque presenti sia l'incertezza sostanziale di come sarà in futuro il mondo e di come questo si evolve, sia l'incertezza procedurale dal punto di vista dei processi futuri che consentono di risolvere i problemi attuali e successivi. Come spiegato anche in Dosi, se le tecnologie fossero completamente duttili e modellabili, e se si potessero riadattare/ricombinare senza difficoltà al fine di soddisfare le richieste dei consumatori e degli utenti finali appartenenti a diversi Paesi con preferenze e prezzi differenti, allora avremmo una gamma molto più ampia e diversificata di combinazioni tecniche, di processo e di prestazioni sia negli input durante la fase di produzione, sia nell'output finale durante la fase di vendita. In quel caso si riuscirebbe ad eliminare l'incertezza dei percorsi di innovazione e chiaramente questo non è ciò che osserviamo o che succede nella realtà dei fatti perché, da un punto di vista pratico, quello che effettivamente accade è che i progressi della tecnologia si verificano in determinate circostanze, più precisamente all'interno di uno spazio delimitato dalle caratteristiche tecnico-economiche. Questo può essere associato alla natura cumulativa della conoscenza tecnologica che genera nuove vie di

innovazione che a loro volta incanalano l'evoluzione tecnologica lungo determinate traiettorie tecnologiche.

Infine, è bene analizzare altri due aspetti relativi alle traiettorie tecnologiche facenti riferimento alle caratteristiche che accomunano le varie traiettorie: il primo aspetto fa riferimento alle tecnologie di processo e quelle interne alle apparecchiature, dove una caratteristica comune è quella della meccanizzazione e/o automazione della fase produttiva. Infatti, l'adozione delle tecnologie di automazione potrebbe influenzare la traiettoria dello sviluppo tecnologico, creando nuove opportunità e sfide per l'innovazione. Un esempio può essere quello della robotica e dell'intelligenza artificiale (AI) che hanno favorito l'implementazione di tecnologie di automazione sempre più sofisticate, in grado di svolgere una gamma più ampia di attività con maggiore efficienza e precisione, riducendo l'errore umano. Il secondo aspetto, invece, riguarda le curve di apprendimento riferite alla relazione che c'è tra la quantità di esperienza che una persona o un'industria ha con uno specifico processo e il lasso di tempo impiegato per il conseguente aumento delle prestazioni o dell'efficienza. Quindi, nel contesto dell'innovazione, le curve di apprendimento possono essere impiegate per la valutazione della rapidità con cui le nuove tecnologie vengono adottate e migliorate nel tempo. Se la curva di apprendimento contribuisce ad accelerare l'adozione e il miglioramento delle nuove tecnologie, allora queste ultime possono modificare la direzione della traiettoria generando nuove opportunità di sviluppo e progresso. In caso contrario, qualora la curva di apprendimento sia più lenta, questo potrebbe ostacolare e rallentare lo sviluppo della traiettoria.

Di solito, le industrie che innescano la nascita di nuovi paradigmi o il miglioramento di una tecnologia lungo delle traiettorie tecnologiche sono industrie consolidate che seguono un processo lineare verso traiettorie continue. Infatti, questo tipo di traiettorie sono spesso caratterizzate da miglioramenti incrementali, in cui ogni nuova iterazione si basa su quelle precedenti. Questo si ricollega anche alla prospettiva di Kuhn-Dosi secondo la quale le traiettorie consolidate dell'innovazione tecnologica persistono di solito fino al momento in cui non si manifestano particolari anomalie, le quali evidenziano che basarsi sulle euristiche decisionali del passato, non è più un approccio efficace rispetto a prima. Tuttavia, è importante sottolineare che il management non può fare affidamento solo ed esclusivamente alle innovazioni generate all'interno del paradigma esistente, in quanto i progressi tecnologici che più hanno rivoluzionato la storia tendono a verificarsi al di fuori dei paradigmi definiti "normali". Se da un lato sfruttare le conoscenze e le euristiche esistenti per guidare l'innovazione comporta buoni risultati, dall'altro i progressi veramente innovativi richiedono spesso la capacità di esplorare nuovi approcci che mettano in discussione i paradigmi attuali.

1.3 Innovazione tecnologica

Per lungo tempo il concetto di innovazione è stato oggetto di analisi da parte di industrie e ricercatori, i quali hanno tentato di fornire una spiegazione. A tal proposito, sono state date varie definizioni al fine di comprendere al meglio il significato: per esempio, secondo Schumpeter innovare vuol dire introdurre nuovi beni e/o nuovi metodi di produzione, apportare modifiche ad un prodotto già esistente, creare nuove forme organizzative, aprire nuovi mercati e scoprire nuove fonti di approvvigionamento (Schumpeter 1930). Alle combinazioni di nuovi beni e servizi, quindi, sono affiancati nuovi processi produttivi, di marketing e di organizzazione aziendale. La letteratura, invece, ha definito l'innovazione come un motore cruciale dello sviluppo economico e sociale in quanto, grazie alle sue caratteristiche intrinseche, supporta l'introduzione di nuove idee che possono trasformare la società. Senza innovazione, la crescita economica sarebbe costantemente bloccata nello stesso punto e il progresso sarebbe limitato. Inoltre, la produzione letteraria separa il concetto di innovazione da quello dell'invenzione perché spesso i due termini vengono confusi, quando in realtà sono due entità separate con un significato diverso. Malerba aveva definito l'invenzione come un'idea completamente nuova che fino a quel momento nessuno aveva mai sviluppato, mentre per quanto riguarda l'innovazione ci dice che è un aspetto che va ad integrarsi rispetto ad un'invenzione (per esempio, i miglioramenti della tecnologia che permettono di aumentare la prestazione della stessa). Ancora, l'innovazione è stata definita dal manuale di Oslo come l'attività che genera prodotti, processi, modelli sia organizzativi che di marketing, che viene implementata per la prima volta o migliora nel tempo. Poiché l'invenzione prevede ingenti investimenti economici nella sua fase iniziale per essere migliorata, ecco che questa può essere l'output finale di un certo numero di processi di innovazione che sono direttamente correlati tra di loro. Quando si parla di innovazione spesso si associa tale concetto a quello dell'innovazione della tecnologia o innovazione tecnologica che fa riferimento alla creazione e al miglioramento di nuove tecnologie, prodotti o servizi che vengono immessi sul mercato.

L'introduzione di un bene completamente nuovo o lo sviluppo significativo di una determinata tecnologia esistente, sono volti a soddisfare un'esigenza specifica che viene richiesta da parte del consumatore. Ma è anche vero al contrario che quando si parla di tecnologia (di cui daremo la definizione nel paragrafo dell'"Evoluzione tecnologica"), si associa a tale concetto quello di innovazione in quanto la tecnologia stessa segue un processo che ci aiuta a capire come questa si sviluppa. Tale processo richiede innanzitutto l'utilizzo di conoscenze esistenti come punto di partenza per poter riuscire a svilupparne delle nuove in momenti successivi e, nonostante non sia in grado di cogliere a pieno tutte le possibili connessioni che si vengono a formare tra le diverse fasi del percorso

di innovazione, riesce comunque ad offrire un quadro utile per comprendere che le varie fasi del processo di innovazione sono interdipendenti tra di loro. Andando a descrivere i vari step (Fig. 1), il processo inizia con la creazione di conoscenza attraverso attività teoriche e sperimentali, che viene poi tradotta in prodotti tangibili e diffusione sul mercato. La fase di ricerca è fondamentale perché determina il successo delle fasi successive sulla base della qualità della conoscenza che viene creata in questo punto. All'interno della fase di ricerca, è importante svolgere un'attenta analisi di mercato per capire quali prodotti sono maggiormente richiesti dagli utenti finali. A quel punto, una volta che il prodotto è stato prima ideato e poi prodotto, è pronto per essere venduto. Eppure, non tutte le imprese si concentrano sul modello di ricerca e sviluppo (R&S), ma, talvolta, preferiscono focalizzarsi sull'acquisizione di tecnologie e sulle competenze dei professionisti per migliorare le tecnologie esistenti. Nel complesso, il processo di innovazione della tecnologia è un processo lineare e complesso che va dalla ricerca, all'innovazione e infine alla diffusione della stessa, dove il completamento di una fase dipende dal successo della fase precedente.

Figura 1

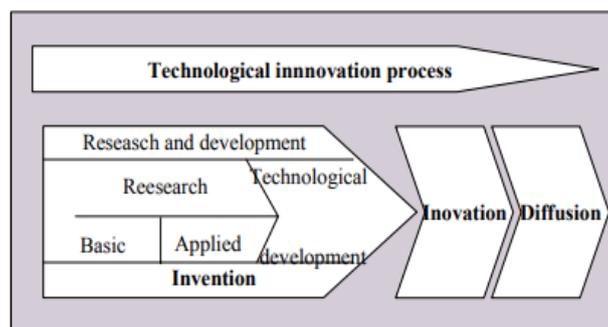


Figure 1. *Technological innovation process*

1.4 Driver dell'innovazione

Quando le aziende decidono di innovare, la loro scelta è condizionata da alcuni fattori che rendono ciclico e continuo il processo di innovazione, il quale tende a creare nuove idee e/o progetti con un obiettivo ben preciso. Pertanto, i driver che spingono le aziende ad innovare sono:

- **Tecnologie emergenti:** possono essere un motore di innovazione perché rappresentano nuove modalità di risoluzione dei problemi o nuovi modi per soddisfare le esigenze dei consumatori. Tali tecnologie rappresentano un grande potenziale perché generano possibilità e opportunità che non erano mai state disponibili in precedenza, consentendo di raggiungere nuovi obiettivi e di realizzare nuovi prodotti, processi e servizi. Va tenuto in considerazione, però, che le innovazioni di questo tipo possono cambiare parte dell'assetto organizzativo delle società, ma in compenso riescono ad essere più efficienti perché si riducono i costi e migliora la qualità dei prodotti. In tal caso, le aziende hanno buone probabilità di entrare in nuovi mercati o crearne direttamente dei

nuovi e abbattere la concorrenza. In passato, queste tecnologie venivano create in grandi laboratori di ricerca e sviluppo, ma ad oggi le fonti di tecnologia emergente sono troppo numerose e rapide nella crescita affinché un soggetto aziendale sia in grado svilupparle interamente da sola. Dunque, sono destinate una quantità sempre più elevata di risorse economiche per individuare potenziali fonti esterne come università, startup ad alta tecnologia e organizzazioni concorrenti, che collaborano per la realizzazione dell'output finale.

- **Le azioni dei competitor:** sono un altro driver che trascina i vari settori verso l'innovazione. Quello che viene a formarsi è una concorrenza tra le varie imprese del settore industriale in cui ognuna punta ad ottenere un vantaggio competitivo o quantomeno a mantenerlo. In quel caso, l'innovazione assume una funzione quasi di sopravvivenza che, insieme alla concorrenza, spinge le aziende nella realizzazione di nuovi output finali che talvolta risultano essere anche abbastanza complessi. Questo tipo di innovazioni, in genere, derivano da innovazioni incrementali che aiutano le aziende a mantenere la loro posizione sul mercato. Talvolta, un'azienda può adottare una strategia uguale o quantomeno simile a quella dei suoi diretti concorrenti per ridurre il rischio del fallimento, poiché quei prodotti sono già conosciuti e ben posizionati sul mercato. Ancora, quando un concorrente introduce un nuovo prodotto o servizio che sconvolge il mercato o conquista una quota di mercato significativa, le altre aziende, secondo il meccanismo azione-reazione, rispondono con le proprie soluzioni innovative per riconquistare o mantenere la propria quota di mercato. Questo può dare vita a innovazioni dirompenti che possono portare al cambiamento del mercato o addirittura al cambiamento di paradigma. Infine, l'osservazione delle innovazioni dei concorrenti supportano le aziende nel creare nuove innovazioni o a migliorare quelle esistenti.
- **Il coinvolgimento di consumatori, partner e lavoratori,** hanno un ruolo cruciale all'interno delle organizzazioni aziendali. Mentre in passato erano poche le persone che venivano coinvolte e che erano in grado di realizzare nuovi progetti, ai giorni d'oggi è fondamentale il coinvolgimento di più soggetti professionisti, i quali supportano il processo di innovazione grazie alle loro conoscenze avanzate. In questo modo, è più facile che vengano implementate delle strategie di successo che, in assenza di queste relazioni, probabilmente non sarebbero state messe in atto. I consumatori sono la prima fonte preziosa perché sulla base dei loro feedback è possibile comprendere al meglio le loro preferenze. Se i prodotti e servizi realizzati rispondono al meglio alle loro esigenze, questo comporta un aumento della customer satisfaction e la fidelizzazione della clientela, che in futuro ripeterà l'acquisto. In secondo luogo, i partner come fornitori, distributori e altri stakeholder aiutano le aziende ad accedere a nuove tecnologie, competenze e risorse. Grazie alle connessioni e al network che si crea, è possibile anche sviluppare soluzioni

più integrate e precise che rispondono meglio al mercato. Infine, se aumenta il coinvolgimento dei dipendenti lungo l'intera catena del valore, allora aumenta anche la loro motivazione e il loro impegno nel lavoro che per l'azienda vuol dire maggiore produttività e maggior efficienza. In più, sono in grado di identificare le aree di miglioramento e innovazione, in quanto interni all'azienda. Promuovere una cultura dell'innovazione e della collaborazione favorisce una crescita e un successo sostenuti.

- **L'emergere di cambiamenti nell'ambiente esterno:** è un altro fattore che influenza l'innovazione da parte delle organizzazioni e in parte riassume quelli che sono gli altri 3 driver precedentemente elencati. I cambiamenti causati dalla concorrenza sono un driver che spinge all'innovazione. In quel caso l'organizzazione aziendale modifica le procedure da seguire durante le fasi principali dei processi di business, o effettua dei cambiamenti a causa di fattori di tipo economico, culturale o tecnologico. Ma un'altra motivazione per cui le aziende decidono di innovare è in risposta alla domanda del mercato quando cambia nel tempo. Tutte le condizioni esterne svolgono un ruolo cruciale, in quanto la progettazione di nuove tecnologie deriva dalle interazioni con clienti, fornitori, concorrenti e tutti gli altri soggetti direttamente coinvolti. Ma se il mercato cambia, come si comportano le aziende? L'attività di R&S interna è il driver della competitività tra aziende. Generalmente, chi è il first mover, è colui che mantiene il dominio sul mercato, ma che allo stesso tempo fa muovere i suoi competitor inviando loro un segnale. Questi ultimi, se hanno i presupposti per entrare nel mercato, possono diminuire parte del vantaggio iniziale dell'innovatore e, qualora riuscissero a presentarsi con una innovazione originale, potrebbero diventare loro gli innovatori. Proprio per questo motivo le aziende devono essere in grado di identificare le tecnologie appropriate, valutare le opzioni tecnologiche, modificarle e integrarle nei processi produttivi. Le innovazioni di successo forniscono alle imprese la consapevolezza e l'importanza che possono assumere in chiave strategica per rispondere in modo efficace ed efficiente al naturale ciclo di vita dei prodotti una volta che raggiungono la loro fase di maturità. Inoltre, quando si innova, si facilita il raggiungimento di altre innovazioni in campi correlati e in tal caso l'innovazione-diffusione diventa un processo interdipendente, in cui l'innovazione ha un ruolo centrale nei nuovi processi di innovazione. Qualora vi sia una relazione di interdipendenza sistemica anche tra soggetti innovatori, questi tenderanno a concentrarsi in determinati settori.

1.5 Tipologie di innovazione

All'interno di un settore competitivo, le industrie apportano miglioramenti alle tecnologie con lo scopo di difendere la propria posizione sul mercato. Talvolta, le innovazioni possono essere drastiche

tanto da rivoluzionare interamente il mercato e il modo di pensare delle organizzazioni. Esistono, infatti, 4 tipi di innovazioni che sono differenti tra loro (Fig.2):

- **Innovazione incrementale**, questo tipo di innovazione avviene quando non sono ancora presenti sul mercato nuove tecnologie che possono portare ad un cambiamento di paradigma. Perciò, le aziende fanno progredire la tecnologia lungo la traiettoria tecnologica, operando all'interno dello stesso paradigma. In sostanza, vengono modificate solo alcune caratteristiche dei prodotti che già esistono, non portando ad alcuna trasformazione radicale. Tale innovazione, essendo la più "semplice" tra le innovazioni, è anche quella che avviene con maggior frequenza e, nonostante sia caratterizzata da piccoli cambiamenti, contribuisce comunque a migliorare qualitativamente la performance grazie alle nuove funzionalità che, una volta introdotte, rendono la tecnologia più efficiente. Con questo tipo di innovazione è possibile sfruttare le economie di scala e ridurre i costi di produzione nel lungo periodo.
- **Innovazione distruttiva o dirompente**, rispetto a quella incrementale prevede che ci sia un cambiamento nel modo in cui i prodotti o i servizi vengono creati, forniti o consumati. Le innovazioni dirompenti spesso sono indirizzate maggiormente verso mercati di nicchia e poi, dopo essersi affermati per più tempo, finiscono per sostituire i prodotti o i servizi esistenti.
- **Innovazione radicale**, consiste nello sviluppo di prodotti o servizi completamente nuovi, diversi da quelli attualmente disponibili sul mercato. Per fare in modo che le innovazioni radicali siano ben strutturate, richiedono spesso una ricerca e uno sviluppo più approfondita che, talvolta, può anche rivoluzionare i modelli di business. Chiaramente, essendo un'innovazione più drastica comporta anche un rischio più alto perché c'è alta incertezza sul successo della tecnologia, poiché gli stakeholders tendono ad essere meno propensi nell'acquisto di un nuovo prodotto di cui non conoscono le caratteristiche funzionali. Un altro aspetto da considerare è che nella fase di lancio le nuove tecnologie non sempre sono superiori a quelle già esistenti. Pertanto, i mercati a cui si rivolgono soprattutto all'inizio, sono mercati in cui quella categoria specifica di consumatori hanno una disponibilità a pagare ben più alta e riconoscono quella determinata fascia di prezzo per le caratteristiche specifiche che quella tecnologia offre. Una volta che la nuova tecnologia ha raggiunto la fase di maturità, da quel momento in poi vengono apportati piccoli cambiamenti e si iniziano a sfruttare le economie di scala che rendono quella tecnologia competitiva con la tecnologia consolidata. Questo passaggio spinge i clienti della rete di valore consolidata verso la nuova tecnologia, dove le aziende che non hanno previsto il potenziale tecnologico della nuova tecnologia, o che hanno continuato a concentrarsi sull'ulteriore miglioramento della tecnologia consolidata (spesso anche come risposta strategica alla minaccia della nuova tecnologia), vengono soppiantate dai

nuovi arrivati che prima operavano solo nella nicchia di mercato (Christensen, 1995). È evidente che un evento di questo tipo porta a un'importante trasformazione della struttura del settore e a un passaggio dal paradigma tecnologico valido a quello nuovo.

- **Innovazione aperta**, prevede la collaborazione con soggetti esterni all'azienda, come clienti, fornitori o altre aziende, per sviluppare nuovi prodotti o servizi. Questo approccio consente alle aziende di sfruttare le competenze altrui e può portare a un'innovazione più rapida ed efficiente in termini di tempo e di costi.
- **Innovazione inversa**, consiste nello sviluppare prodotti o servizi nei mercati emergenti per poi adattarli ai mercati sviluppati. Questo metodo viene spesso utilizzato dalle multinazionali per creare prodotti su misura per le esigenze e le preferenze specifiche dei clienti in regioni diverse.

Se da un lato l'innovazione tecnologica può portare molti benefici, dall'altro può anche avere conseguenze negative da un punto di vista economico e sociale. È bene che vengano valutati quali sono i rischi potenziali e che vengano sviluppati approcci responsabili in grado di capire come poterli evitare. Un rischio in cui un'azienda può incorrere è che l'investimento finanziario necessario per le spese di ricerca, sviluppo e implementazione di una nuova tecnologia, non riscontri alcun successo. In investimenti di questo tipo c'è sempre molta incertezza e non ci sono garanzie di successo, piuttosto ci sono buone probabilità che si verifichi un fallimento e un'ingente perdita economica. Un altro fattore di rischio è che i prodotti diventino obsoleti nel corso del tempo o, in alcuni casi, può accadere che la tecnologia diventi obsoleta subito dopo il suo sviluppo a causa dei rapidi cambiamenti del mercato o delle tecnologie emergenti immesse dai competitor.

Però, la capacità di un'azienda di innovare e rimanere competitiva è determinata in larga misura dalla sua capacità di innovazione. Questa capacità è basata su alcuni fattori, tra cui la capacità dell'azienda di sviluppare e attuare strategie tecnologiche coerenti, acquisire e assorbire nuove tecnologie, formare e sfruttare legami con soggetti terzi esterni all'azienda e sviluppare altre competenze che supportano l'innovazione. Per le aziende che non sviluppano tale capacità tecnologica, in alternativa, possono concentrarsi di più sullo sviluppo di competenze legata all'acquisizione e all'utilizzo della tecnologia. In tal caso, è possibile mettere a disposizione dei dipendenti dei programmi di formazione che li aiutino a sviluppare le competenze e le conoscenze necessarie per l'utilizzo delle nuove tecnologie, oltre alle relative partnership con nuove organizzazioni che rendono accessibili le loro competenze e le loro risorse. Costruendo una solida capacità di innovazione, le aziende saranno in grado di vendere sul mercato prodotti e servizi che fino a quel momento nessuno è mai riuscito a realizzare e di rimanere davanti ai competitor.

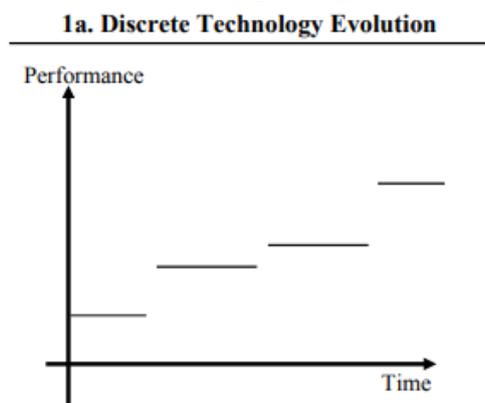
1.6 L'evoluzione della tecnologia

I progressi compiuti dall'uomo fino ad ora sono stati resi possibili dall'evoluzione della tecnologia nel corso degli anni. Anche il concetto di evoluzione, così come quello dell'innovazione, è diventato un argomento sempre più centrale che cerca di analizzare quali aspetti sono stati migliorati con l'evoluzione delle nuove tecnologie e qual è il loro impatto sul piano organizzativo, economico e societario. Su questa tematica sono emersi diversi corpi della letteratura come l'economia, la sociologia, il management e tante altre ancora, ma che non hanno visto una grande comunicazione tra i vari studiosi, provocando una frattura tra i vari filoni di pensiero. Fino ad ora tutti gli argomenti trattati ruotano intorno ad un altro concetto: la tecnologia. La tecnologia può essere definita come "Una forma di conoscenza che può essere applicata per risolvere problemi (Dosi, 1982)". È l'insieme di metodi, processi, tecniche e analisi che consentono di creare nuovi beni e servizi, oltre ad essere un fattore di fondamentale importanza per il progresso umano, perché ha permesso sia di esplorare nuovi orizzonti, che mettere in contatto persone da tutto il mondo. Ha anche cambiato molti aspetti della vita degli individui, a partire dalla comunicazione al lavoro, o ancora sulla struttura e sulle dinamiche di uno specifico settore.

In generale, la letteratura ci spiega come la tecnologia cambia nel tempo e ci fornisce un'idea su quali sono le tappe fondamentali che una tecnologia compie durante il suo percorso di evoluzione. In particolare, sono stati individuati tre modelli che ci spiegano tale processo: il modello discreto, continuo e ciclico.

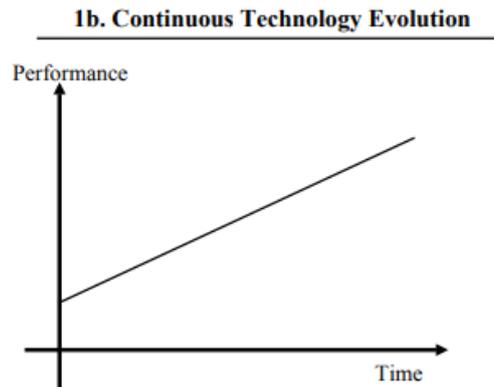
Modello discreto: descrive l'evoluzione tecnologica come una serie di fasi caratterizzate da cambiamenti discreti e identificabili, che non derivano dalla continuazione delle tecnologie precedenti. Nel grafico riportato (Fig.1a), la tecnologia viene rappresentata con un andamento a scalini poiché le innovazioni che sono apportate sulla tecnologia, avvengono in modo frammentato nel tempo e generano un miglioramento della performance. L'evoluzione avviene in modo discontinuo dove nuove scoperte o cambiamenti di paradigma si manifestano ad intervalli diversi.

Figura 2



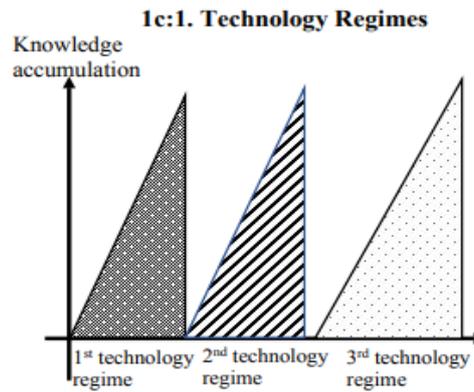
Modello continuo: alcuni studiosi hanno spiegato che la tecnologia, proprio come gli organismi biologici, si evolve gradualmente attraverso continui processi chiamati mutazioni o "variazioni". I produttori apportano costantemente delle piccole modifiche alle tecnologie esistenti e quelle che hanno un maggior successo, vengono mantenute fino a quando non vengono sostituite da nuove variazioni che migliorano ulteriormente la performance della tecnologia stessa (Fig. 1b). Come si evince dal grafico, infatti, grazie ai nuovi progressi, le prestazioni della tecnologia aumentano in modo esponenziale nel corso del tempo.

Figura 3



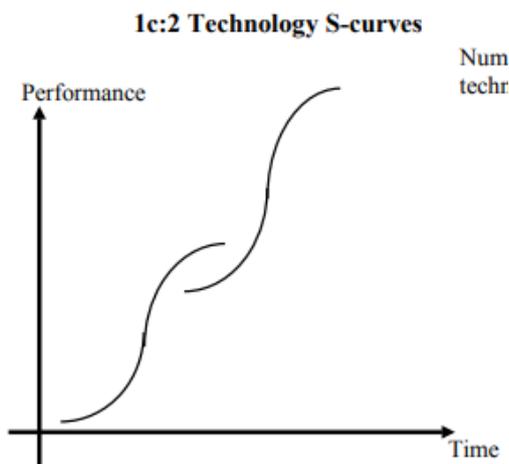
Modello ciclico: è l'ultimo dei tre modelli che la letteratura più recente utilizza per descrivere che la tecnologia si evolve in modo ciclico, in quanto ai cambiamenti incrementali seguono, anche se in maniera meno frequente, cambiamenti discontinui. La differenza tra questi due cambiamenti è che mentre il primo prevede che ci siano solo piccole modifiche, il secondo, invece, prevede che venga sviluppata e successivamente immessa sul mercato una tecnologia che ha come punti di forza prestazioni e costi che sono differenti dalla tecnologia precedente. Molte tecnologie hanno modelli ciclici di evoluzione caratterizzati da una fase di rapida crescita, seguita poi da periodi di declino o stagnazione. Alcuni studiosi hanno definito la "Durata di un regime tecnologico" (o paradigma tecnologico facendo riferimento a quanto detto da Dosi), o la tecnologia a curva ad S, o ancora il ciclo di vita della tecnologia, l'intervallo di tempo che intercorre tra un cambiamento discontinuo e l'altro. Il concetto di **regime tecnologico** si rifà al concetto dei paradigmi scientifici proposto da Kuhn. Un particolare modello di evoluzione tecnologica, nel quale vi è l'accumulo di conoscenza all'interno di un determinato paradigma, viene interrotto per un mutamento nella base di conoscenza scientifica della tecnologia. Questo porta all'introduzione di un nuovo regime di conoscenza che viene poi applicato per risolvere i problemi tecnologici. Tale regime viene ulteriormente sviluppato e perfezionato fino a quando non si esaurisce, per poi essere sostituito da un nuovo regime (Fig. 1c1).

Figura 4



Per quanto riguarda il concetto di **curva ad S**, invece, fa riferimento all'aumento delle performance grazie ai miglioramenti apportati alla tecnologia nel corso degli anni. La fase iniziale in cui la tecnologia è stata immessa sul mercato per la prima volta, è una fase di incertezza in cui non si può conoscere a priori la sua probabilità di successo perché ormai tutti gli stakeholders sono attratti dalla tecnologia precedente. Dopo questa prima fase iniziale, c'è una fase di crescita del numero di acquisti della tecnologia, dove sempre più soggetti sono attratti. Inoltre, le aziende produttrici riescono a migliorare ulteriormente alcune componenti specifiche della tecnologia grazie alle economie di scala e di scopo. Dopo questa fase, i cambiamenti e le innovazioni che sono state apportate durante il ciclo di vita della tecnologia, iniziano a scemare fino ad arrivare a quella che viene definita fase di maturità. Ormai un numero elevato di stakeholders condivide la medesima tecnologia, ma la crescita della stessa inizia a rallentare come mostrato nel grafico in cui si viene a formare una curva ad s (Fig. 1.c.2).

Figura 5



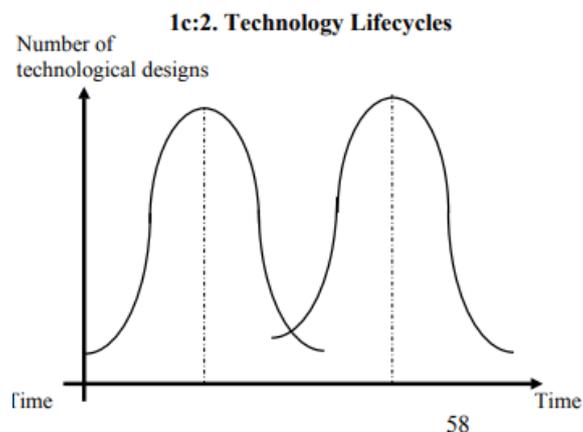
Durante questa fase di stallo della tecnologia ne viene implementata una nuova che potrebbe avere delle prestazioni inferiori rispetto a quella/e esistente/i. Il percorso che segue la nuova tech è esattamente uguale a quello delle tech precedenti, dove alla fase iniziale segue quella di crescita in

cui vengono effettuati investimenti e innovazioni incrementali. Se le modifiche apportate si rivelano migliori, allora la nuova tecnologia “sostituisce” quella vecchia (Fig. 1.c.2).

Infine, l’ultimo **modello** spiegato dalla letteratura è quello **ciclico** che si oppone al modello a curva ad S, focalizzandosi non solo nella tecnologia in generale e nella sua evoluzione come è stato fatto nel modello precedente, ma si focalizza anche su quale tra i vari design tecnologici in concorrenza tra loro diventa quello dominante e quali sono le cause che fanno affermare quello specifico design (il principio di “Design dominante “ verrà approfondito nella sezione 1.7 relativa alle discontinuità tecnologiche). Il concetto di design tecnologico, il quale prevede che una serie di elementi tecnologici vengano assemblati all’interno di un’architettura tecnologica, serve a comprendere e confrontare quali sono stati i cambiamenti tecnologici avvenuti nel tempo e tra i produttori.

Il ciclo di vita della tecnologia comincia quando una nuova tecnologia sul mercato spinge i produttori a creare nuovi design, dando vita a una moltitudine di nuove alternative tecnologiche. Questo periodo iniziale viene identificato come "era del fermento", in cui più design sono in concorrenza per dominare il mercato. Nel tempo, sola una variante emerge con successo rispetto alle altre diventando il design dominante nel suo settore, nonostante nel mercato siano presenti alternative potenzialmente superiori.

Figura 6



Quelli appena visti sono tre modelli che ci spiegano l’evoluzione della tecnologia che, a loro volta, sono stati individuati da quattro prospettive differenti: la prospettiva tecnologico realista, economico realista, interpretista cognitiva e costruzionista sociale, a cui sono affiancati tre meccanismi che sono il meccanismo di variazione, di selezione e di mantenimento. Si parla di meccanismo di variazione quando ai continui cambiamenti incrementali seguono nuovi progetti tecnologici. Si parla di selezione nel momento in cui una serie di variazioni tecnologiche sono quelle che regolano il mercato. Infine, si parla di mantenimento quando una tecnologia, dopo che è stata abbandonata per un periodo di tempo, viene “rigenerata” e mantenuta. La letteratura fornisce un quadro più chiaro su ogni prospettiva e ciascuna di esse è affiancata dai tre meccanismi, in particolare:

- **La prospettiva realista:** ci viene spiegato che alcuni fattori tecnici, tra cui i miglioramenti delle prestazioni, sono i principali elementi di variazione, selezione e mantenimento della tecnologia. Questa prospettiva implica che i modelli pensati dai soggetti che inventano la tecnologia, riflettano in maniera accurata l'artefatto tecnologico reale, motivazione per cui la tecnologia stessa sta al centro della visione realista. Inoltre, il realismo tecnologico viene spesso associato al determinismo tecnologico, il quale afferma che le caratteristiche intrinseche di una tecnologia comportano degli impatti sociali ed economici. Gli studiosi che adottano questa prospettiva tendono a concentrarsi sul modo in cui i cambiamenti nella maturazione della tecnologia, lungo la curva ad S o il ciclo di vita della tecnologia, influenzano la diversità dei progetti tecnologici. A questa prospettiva si ricollegano i tre modelli nel seguente modo: la variazione nel design e nelle performance della tecnologia è legata alla discontinuità tecnologica dove i produttori hanno un'elevata incertezza su quali progetti tecnologici soddisfano le esigenze dei clienti e su quali siano tecnicamente fattibili, portando a progetti costosi e incompatibili. Quando l'incertezza tecnologica diminuisce, anche la variazione dei progetti si riduce, poiché i produttori apportano piccole variazioni dei progetti tecnologici precedenti per ottenere una riduzione dei costi e un aumento delle prestazioni. La selezione delle varianti tecnologiche, invece, si basa sulle proprietà funzionali della tecnologia e in base a quanto sono in grado di rispondere alle esigenze degli utenti. In genere si privilegia la variante con le prestazioni più elevate durante la selezione, ma può capitare che le tecnologie inferiori vengano mantenute a causa dei lock-in tecnologici, nonostante siano disponibili tecnologie superiori.
- **La prospettiva economica:** evidenzia che i fattori economici, come gli investimenti in R&S e le economie di scala, hanno un ruolo cruciale nell'influenzare la variazione, la selezione e il mantenimento della tecnologia. Questa prospettiva mostra alcune analogie con la prospettiva del realismo tecnologico, ma suggerisce che i fattori economici, come le dimensioni dell'impresa, hanno un peso maggiore rispetto ai fattori tecnici. La prospettiva economica implica una forma di determinismo materialista chiamato determinismo economico, il quale presuppone che l'evoluzione della tecnologia sia amministrata principalmente dalle dinamiche competitive dei mercati e dal commercio delle tecnologie, piuttosto che essere influenzata da fattori tecnologici. L'obiettivo di questa prospettiva è spiegare l'evoluzione delle industrie tecnologiche prestando una maggiore attenzione al ruolo delle variabili economiche, anziché alle caratteristiche intrinseche della tecnologia stessa. In questo caso, la variazione dei progetti tecnologici è spiegata dall'eterogeneità delle imprese in termini di tecnologia e competenze di mercato che, a causa dell'incertezza del mercato,

spinge i produttori a generare variazioni differenti. Rispetto alla prospettiva tecnologica, la quale sostiene che l'incertezza tecnologica genera nuove variazioni, la prospettiva economica, invece, afferma che le differenze principali consistono o negli investimenti precedenti effettuati dalle imprese per acquisire competenze tecnologiche, oppure nell'eterogeneità della domanda dei consumatori che spinge i produttori a creare progetti tecnologici. La selezione, invece, avviene in base alle preferenze dei consumatori, le quali sono orientate prevalentemente per i prodotti più economici con la massima utilità. Infine, per quanto riguarda il mantenimento della tecnologia, questo è determinato da fattori come la quota di mercato, la capacità di investimento e le esternalità di rete. Se le imprese riescono a ottenere una quota di mercato maggiore, allora possono spesso abbassare i prezzi grazie alle economie di scala e, in seguito, tentano di incrementare ulteriormente la loro quota di mercato e la loro capacità di R&S. Di conseguenza, le tecnologie prodotte dalle imprese dominanti avranno maggiori probabilità di essere mantenute nel tempo. Anche le esternalità di rete hanno un ruolo centrale nel favorire il mantenimento della tecnologia quando più utenti adottano la stessa tecnologia. Infatti, in mercati con grandi esternalità di rete ci sono più probabilità che vengano selezionate le varianti tecnologiche adottate in passato, poiché gli utenti traggono vantaggio dal fatto che già altri soggetti le hanno adottate da prima di loro.

- **La prospettiva cognitiva:** esclude il realismo tecnologico e sostiene che le rappresentazioni cognitive della tecnologia da parte degli attori non sono necessariamente un riflesso dell'artefatto tecnologico reale. L'idea centrale è che i fattori cognitivi guidino la direzione dell'evoluzione tecnologica. Tutti i filoni letterari che aderiscono a questa prospettiva tendono a dare maggiore importanza ai periodi di transizione e di competizione tra variazioni tecnologiche, piuttosto che spiegare i modelli di evoluzione tecnologica a lungo termine. A questa prospettiva si ricollegano i tre modelli nel seguente modo: poiché la prospettiva cognitiva sostiene che l'importanza di una tecnologia deriva dalle rappresentazioni cognitive dei produttori e consumatori e dalle aspettative che si creano con l'utilizzo, può capitare che attori diversi possano interpretare ogni variazione in maniera differente e creare diverse possibilità di azione. Le scelte tecnologiche dei produttori sono influenzate dalle loro previsioni e dall'immaginazione di quanto viene utilizzata e domandata la loro tecnologia, generando un'elevata variazione della tecnologia poiché l'ambiguità del mercato è alta. Per la parte relativa alla selezione della tecnologia, la prospettiva cognitiva suggerisce che le varianti tecnologiche scelte sono quelle che più si avvicinano alle idee dei clienti. Un rischio per i nuovi prodotti tecnologici è che possano essere troppo nuovi e lontani dal quadro cognitivo dei consumatori, causando il fallimento della tecnologia sul piano commerciale.

Ricerche empiriche hanno svolto degli studi sull'adozione delle tecnologie e i risultati hanno affermato che il mercato, in media, favorisce le varianti tecnologiche che più si assomigliano alle generazioni tecnologiche precedenti. Secondo la prospettiva cognitiva, le tecnologie vengono mantenute quando produttori e consumatori si fissano su alcuni elementi specifici della tecnologia. Dal momento in cui le componenti principali della tecnologia vengono condivise tra gli utenti, le variazioni tendono a convergere verso un numero ristretto di variazioni. Studi empirici, inoltre, affermano che la conservazione della tecnologia è un fattore che contribuisce alle difficoltà di adattamento delle imprese alle nuove tecnologie. Infatti, quando una tecnologia si afferma, i produttori possono rimanere bloccati in un modello di business specifico per quella tecnologia, rendendo difficile l'adattamento delle nuove. Allo stesso modo, quando l'uso di una tecnologia diventa standardizzato, i consumatori possono fissarsi su modi specifici di usarla e apprezzarla, ostacolando l'adozione di nuove tecnologie.

- **La prospettiva sociale:** si basa sia sulla prospettiva economica che su quella cognitiva; l'idea centrale è che la comprensione delle interazioni degli attori con la tecnologia non può essere ridotta esclusivamente alle proprietà intrinseche della tecnologia, ma si deve tenere conto anche dei fattori sociali come gli interessi, la network position e il potere. A differenza delle prospettive tecnologica ed economica, la prospettiva sociale non aderisce al determinismo materialista, afferma piuttosto che l'evoluzione tecnologica è fortemente influenzata da dinamiche sociali che non possono essere ridotte a fattori tecnici ed economici. La prospettiva sociale sottolinea che le variazioni tecnologiche “dipendono” dalle strutture sociali in cui operano le imprese. Il fatto che vi siano diverse comunità fa sì che ci siano nuove variazioni in diversi momenti del ciclo di vita dell'industria, con comunità organizzate che dominano nella parte iniziale, e interazioni strutturate tra comunità e imprese che dominano nella parte finale. Quindi, la variazione tecnologica risulta influenzata dalla struttura sociale tra gli attori. Invece, le tecnologie con maggiore probabilità di essere selezionate sono quelle allineate con gli interessi degli attori principali, compresi i regolatori. Due studiosi, Hargadon e Douglas, hanno approfondito questa tematica e hanno fornito un esempio sulla commercializzazione della lampadina dimostrando che Edison progettò il suo sistema per integrarsi perfettamente con l'infrastruttura di illuminazione corrente, in modo tale da allinearla con gli interessi del mercato più rilevanti. Negli anni a seguire, i sistemi di illuminazione centralizzati dominarono il mercato, nonostante la loro inferiorità tecnologica. Infine, la prospettiva sociale suggerisce che alcune variazioni tecnologiche vengono mantenute nel tempo a causa del loro allineamento con gli interessi dei principali attori o con le strutture sociali esistenti, soprattutto per le tecnologie leader. Un esempio di questo fenomeno è lo studio che è stato condotto da

Kirsch sui veicoli con motore a combustione interna, diventato dominante perché supportato da potenti forze del mercato, nonostante non fosse tecnologicamente superiore. Da quel momento in poi è stato il fulcro centrale dei veicoli a motore dove le organizzazioni che lo producevano e lo sostenevano, lo hanno reso nettamente superiore alle altre tecnologie.

Apparentemente, le tematiche e i filoni di pensiero delle quattro prospettive fin qui visti, sembrano offrire spiegazioni differenti rispetto al concetto di variazione tecnologica, ma se lo analizziamo a fondo notiamo che ciascuna prospettiva riconosce che la variazione deriva dalla ricombinazione di elementi esistenti, anche se differiscono nella comprensione di come avviene questo processo. Inoltre, tutte le prospettive spiegano che la selezione è guidata dall'adattamento all'ambiente, ma variano soprattutto sulla base delle caratteristiche dell'ambiente, che a loro volta influenzano la selezione stessa. Infine, ciascuna delle prospettive riconosce che la path dependence guida il mantenimento della tecnologia, ma differisce nei fattori che la supportano.

1.7 Discontinuità tecnologiche

In questa parte tratteremo un'altra tematica di fondamentale importanza che è quella relativa alle discontinuità tecnologiche, ma comprenderne meglio il significato partiamo dal paradigma tecnologico. Come sappiamo, possono esserci più paradigmi che possono far progredire una determinata tecnologia, ma ciò che accade è che tra tutti i paradigmi ci si concentra solo su uno tra tutti. Nel momento in cui un particolare paradigma domina sugli altri, il progresso tecnologico viene indirizzato lungo una particolare traiettoria tecnologica. Di solito, il paradigma tecnologico tende ad evolversi in modo incrementale nel tempo, con miglioramenti e perfezionamenti della tecnologia esistente. Infatti, le innovazioni che vengono apportate alla tecnologia sono di tipo incrementale e vengono modificati solo alcuni elementi dei prodotti senza generare alcuna trasformazione radicale. In quel caso quindi si osserva che il cambiamento segue un andamento graduale nel tempo. Tuttavia, ad un certo punto, può accadere che questo cambiamento non avvenga più per gradi, ma sia drastico e discontinuo. In quel caso siamo in presenza di un fenomeno chiamato "discontinuità tecnologica", il quale indica che si è verificato un cambiamento improvviso e significativo nella tecnologia o nell'innovazione che sostituisce o supera una tecnologia o un'innovazione esistente.

Anche sul concetto di discontinuità tecnologica sono state date varie definizioni e interpretazioni, per esempio:

- Schumpeter ha definito il cambiamento tecnologico discontinuo come l'introduzione di una tecnologia con un potenziale prezzo-prestazione radicalmente diverso da quello della generazione precedente (Schumpeter, 1934).
- Tushman e Anderson (1986) hanno definito una discontinuità tecnologica come un miglioramento significativo della frontiera massima raggiungibile tra prezzo e prestazioni di un settore. I due teorici sostengono che il cambiamento tecnologico in una classe di prodotti, di solito, comporta lunghi periodi di cambiamenti incrementali a cui si alternano importanti scoperte, anche se con meno frequenza. Tushman e Anderson hanno inoltre classificato le discontinuità tecnologiche come mezzo di rinforzo o di distruzione di competenze, vale a dire accrescere le conoscenze e le abilità esistenti oppure renderle obsolete. Questo perché una discontinuità che distrugge le competenze rende irrilevante l'esperienza precedente e tutte le fasi principali di invenzione e sviluppo del bene sono disallineate dai precedenti risultati. Invece, se una discontinuità aumenta le competenze e si basa sul know-how che è stato acquisito dalla tecnologia sostituita, allora si allinea perfettamente con gli obiettivi precedentemente raggiunti.

Molto spesso, al tipo di cambiamento che genera una discontinuità tecnologica è direttamente correlato un cambiamento nella modalità con la quale un prodotto viene progettato, fabbricato o consegnato e il verificarsi delle discontinuità tecnologiche può sconvolgere i prodotti e i modelli aziendali esistenti e dare origine a nuovi mercati/modelli di business. Inoltre, il cambiamento tecnologico discontinuo rende obsolete le tecnologie o i processi passati, motivo per cui si assiste ad un cambiamento del paradigma. Chiaramente questo è un fenomeno che non avviene con frequenza e regolarità, piuttosto le discontinuità si presentano ad intervalli irregolari in ciascun settore industriale. Quello che succede quando si verifica una discontinuità tecnologica è che il paradigma esistente viene messo in discussione, poiché vengono trovate delle alternative che consentono di risolvere gli stessi problemi o di raggiungere gli stessi obiettivi in modo differente. In quel caso la discontinuità permette di ottenere un miglioramento del prodotto sia da un punto di vista economico in quanto consente di ridurre i costi di produzione, sia da un punto di vista qualitativo poiché il prodotto ha prestazioni superiori ed è più efficiente rispetto ai prodotti creati precedentemente. Per esempio, un evento che nella storia ha portato il verificarsi di un cambiamento tecnologico discontinuo è stato l'invenzione dell'automobile che ha rivoluzionato lo spostamento di persone e merci rispetto al periodo in cui c'era "l'industria dei cavalli e delle carrozze". Tale fenomeno, ha portato numerosi benefici alla società che è riuscita ad ottimizzare i tempi di percorrenza dei tragitti, oltre al fatto che le persone e le merci viaggiavano in modo più sicuro. Allo stesso modo, anche

l'ascesa delle tecnologie digitali, come gli smartphone e il commercio elettronico, sono stati un cambiamento che ha profondamente rivoluzionato i settori della vendita al dettaglio e dei media.

In generale, il concetto delle discontinuità tecnologiche evidenzia come le competenze precedentemente sviluppate, possono essere un fattore di rafforzamento o di distruzione per quelle nuove e questo si riallaccia per buona parte a quanto detto da Tushman e Anderson. Infatti, l'impatto che genera sulle industrie e sulle economie può essere abbastanza vasto, per cui può accadere che le innovazioni che favoriscono il miglioramento delle competenze introducono un nuovo ordine tecnico sulla base delle conoscenze, anziché renderle obsolete come accade in altre circostanze. A quel punto i cambiamenti che vengono valutati positivamente prevedono delle circostanze in cui si formano determinati standard che vengono mantenuti per molto tempo e che saranno poi caratterizzati da cambiamenti incrementali. Chiaramente ai periodi di cambiamento incrementale possono seguire nuove scoperte tecnologiche che generano un cambiamento discontinuo e la nascita di un nuovo paradigma, facendo riiniziare il ciclo. La fase di affermazione di un determinato standard in un arco temporale relativamente lungo può essere identificato con un termine specifico che è quello di "Design dominante". Un design dominante "è una singola architettura che stabilisce la dominanza in una classe di prodotti" (Abernathy, 1978; Sahal, 1981). Quello che accade è che tra una serie di prodotti presenti sul mercato, in particolare uno tra tutti sarà quello che condiziona e che guida gli altri. Da quel momento il mercato avrà uno standard di riferimento da seguire che per lungo tempo sarà quello che influenzerà tutte le altre imprese all'interno dell'industria che si dovranno allineare se vogliono mantenere una buona posizione rispetto agli altri competitor. Successivamente, alla tecnologia vengono apportati dei miglioramenti mediante innovazioni incrementali che la valorizzano. Un esempio è proprio nel settore automobilistico in cui determinati progetti sono rimasti come standard fino al momento in cui non sono emersi nuovi standard industriali che hanno modificato alcune caratteristiche del prodotto a seguito di cambiamenti incrementali (dai motori a gas o a vapore, a quelli a combustione interna). Lo standard/design di riferimento, rimarrà sul mercato fino a quando non ci sarà un nuovo standard che lo supererà a seguito di un cambiamento improvviso di una tecnologia che determina una discontinuità.

Secondo Sahal (1981), esistono alcuni progetti noti come "guide tecnologiche" che sono il punto di partenza per i futuri progressi tecnologici. Una volta che viene stabilita una guida tecnologica, l'innovazione procede per gradi attraverso piccole modifiche e miglioramenti al progetto di base e i progetti dominanti possono emergere in varie categorie di prodotti, fungendo da modello standard per gli sviluppi successivi in quel determinato ambito.

Quello che dice Kuhn, invece, è vero che le attività tecnologiche si sviluppano secondo una traiettoria tecnologica che viene definita dal paradigma, ma nel momento in cui ci sono delle innovazioni inaspettate, queste tendono a ribaltare il paradigma stesso provocando una discontinuità tecnologica. Il fatto che vi sia un progetto dominante è un fattore positivo per le organizzazioni aziendali, poiché il progetto, per un determinato periodo di tempo, non subisce grandi variazioni. Questo consente di ridurre l'incertezza nella classe dei prodotti o un eventuale fallimento, cosa che accade in genere quando un prodotto nuovo viene appena lanciato sul mercato, mentre in caso di apprezzamento diventa il nuovo standard di riferimento. L'altro beneficio positivo che deriva dall'emergere di un design dominante, poiché c'è maggiore stabilità, è che le aziende sono in grado di progettare parti standardizzate e intercambiabili per i loro prodotti. Questo, a sua volta, permette di ottimizzare i processi organizzativi per ottenere un numero elevato di volumi, ma soprattutto di essere più efficienti nella produzione. Riducendo la variabilità nella progettazione dei prodotti e nei processi di produzione, le aziende possono ridimensionare le loro operazioni e sfruttare le economie di scala, a seguito dell'apprendimento acquisito durante la pratica. Inoltre, con i design dominanti è più facile mantenere relazioni stabili per le aziende con fornitori, venditori e clienti. Ad esempio, i fornitori e i venditori possono decidere di acquistare delle componenti specifiche che si adattano bene al prodotto, consentendo di migliorare l'affidabilità e la qualità dei loro prodotti e servizi. Questo meccanismo, a sua volta, genera una catena del valore più solida e affidabile.

Infine, dal punto di vista del cliente, possono beneficiare dell'aumento della concorrenza a seguito della standardizzazione del design dei prodotti, poiché va ad influenzare i prezzi (più bassi) dei prodotti che sono pure di qualità superiore.

Di solito, quando si tratta di un'innovazione rivoluzionaria, allora produttori, fornitori, clienti sono coinvolti all'interno di una forte competizione che contribuisce alla diminuzione dell'incertezza e gli sconvolgimenti associati al periodo di rapido cambiamento. La competizione, poi, dà origine a diverse opzioni di scelta alternative al progetto dominante che una volta selezionato, viene sostituito da un progetto rivale, che a sua volta può essere nuovamente superato. In alternativa, diversi design o modelli rivali possono acquisire quote di mercato simili, senza che nessuno prevalga sugli altri. Tuttavia, la modalità di selezione più significativa si ha quando emerge un progetto che guadagna più del 50% delle quote di mercato e solo allora può essere considerato il vero progetto dominante.

In generale, l'emergere di un design dominante può fornire vantaggi significativi perché aiuta a dare maggiore stabilità nel mercato. Nonostante ciò, ciascun design può essere superato nel tempo dove il verificarsi delle discontinuità tecnologiche o i cambi nelle preferenze dei consumatori possono portare ad una trasformazione tecnologica nel settore e alla creazione di un nuovo paradigma.

1.8 Il settore automobilistico

L'industria automobilistica è uno degli elementi chiave nell'economia mondiale da oltre un secolo. Ha svolto un ruolo fondamentale perché ha permesso a molti paesi di crescere ed espandersi diventando uno tra i principali driver dell'innovazione e del progresso tecnologico. Ad oggi il settore dell'auto ha un fatturato annuo di miliardi di dollari in cui sono coinvolte milioni di persone provenienti da nazioni differenti, rendendola una delle industrie più grandi e complesse in assoluto. Viene considerata come grande industria in quanto la catena di produzione è molto articolata e va dalla progettazione, alla produzione e infine alla vendita di veicoli a motore, non solo di automobili, ma anche di autobus, motociclette e veicoli pesanti per il trasporto merci. Nel corso del tempo, l'industria automobilistica ha fatto fronte ad una serie di problematiche significative, come l'evoluzione delle preferenze dei consumatori, il cambiamento delle norme relative all'inquinamento ed in particolare la nascita di nuove tecnologie come i veicoli elettrici. Queste sfide hanno spinto molte aziende ad effettuare ingenti investimenti per poter progredire e rimanere in linea con l'evoluzione del settore.

Solo alcune industrie nel XX secolo sono riuscite ad avere un impatto socio-economico così forte e quella dell'auto, in particolare, ha portato dei cambiamenti radicali sia nella parte dell'organizzazione del lavoro che per la gran parte è stata rivoluzionata, sia nella catena di produzione. Infatti, tali innovazioni non hanno trasformato solamente la modalità di produzione delle vetture, ma hanno anche scaturito cambiamenti nell'intero settore manifatturiero, con la nascita di nuovi modelli di organizzazione e gestione industriale. Va sottolineato che il ruolo che ha l'industria automobilistica non si ferma solo alla produzione e vendita, ma anche alla riqualifica e alla rinascita di paesi in crisi. I benefici positivi sono stati per esempio il recupero di paesaggi fisici nelle città e nelle periferie, la costruzione di strade e autostrade per i collegamenti da città a città, la nascita di nuove aziende e di nuovi servizi urbani.

Cenni storici: l'industria automobilistica è stato uno dei principali driver dell'innovazione e sperimentazione tecnologica, poiché ha svolto un ruolo centrale nello sviluppo di nuove forme di organizzazione del lavoro e della produzione, come il fordismo, lo sloanismo e il toyotismo. Storicamente, l'industria dell'auto si distingueva perché era costituita da un settore ad alta intensità di capitale, caratterizzata da un sistema basato sull'integrazione verticale e le economie di scala. Agli inizi del 1900 circa 300 aziende erano in competizione tra loro, ma in particolare negli USA i produttori di autovetture, dopo una forte trasformazione nel settore, decisero di passare alla produzione di massa con la vendita di un modello unico a prezzi bassi, secondo uno standard ben preciso. L'emergere di un design dominante consentì ad altre grandi aziende di poter entrare

all'interno del mercato e di sviluppare le capacità essenziali per l'integrazione e la scalabilità dei sistemi, al fine di creare delle vere e proprie barriere che potessero impedire a nuovi operatori di entrare nel mercato. Per esempio, la General Motors Company (GM) che entrò nel mercato delle autovetture 1908 a seguito della fusione di varie aziende, o come l'azienda di Henry Ford che mise in commercio il modello Ford T. Quest'ultimo utilizzò dei nuovi metodi per la produzione, impiegando un sistema meccanizzato lungo la catena di montaggio e una standardizzazione del prodotto diventando uno dei migliori produttori in serie di auto che, grazie al suo immediato successo, riuscì a vendere un numero elevato di vetture. Il 1920-1921 fu un periodo storico in cui ci fu una crisi economica generale e fu l'occasione per GM di sperimentare e implementare una nuova strategia industriale, chiamato lo Sloanismo. Questo sistema aveva permesso di rendere le parti meccaniche e gli altri componenti dei veicoli intercambiabili tra loro, portando alla riduzione i costi di produzione mediante lo sfruttamento delle economie di scala. Tale strategia si rivelò talmente efficace che GM era riuscito a superare Ford nel 1926 e diventare il primo produttore di auto al mondo. Nel frattempo, anche un terzo costruttore statunitense diventò leader nella produzione, Chrysler, che insieme alle altre due potenze, furono le aziende leader del settore dell'automotive per la prima metà del XIX secolo per la loro superiorità tecnologica e organizzativa, le cosiddette "Big Three".

Quegli anni furono caratterizzati da un periodo di stabilità e di evoluzione del settore, senza grandi cambiamenti radicali. Nonostante le componenti principali delle auto furono costantemente innovate e aggiornate, il design dominante rimase quasi invariato dal punto di vista architettonico, caratterizzato da una carrozzeria metallica chiusa, da un motore a combustione interna, da un e da sistemi di sterzo e di frenata per il controllo del veicolo. Dagli anni '50 in poi, i fornitori diventarono sempre più importanti nella catena del valore, in quanto vennero coinvolti anche nella progettazione e nelle attività di ricerca e sviluppo.

Uno degli aspetti più rilevanti che contraddistingue l'industria automobilistica dagli altri settori è che è orientata al progresso tecnologico. Si è passati dai primi veicoli a benzina alle odierne auto elettriche e a guida autonoma, accompagnati da miglioramenti significativi nella sicurezza, nelle prestazioni e nella sostenibilità. Nonostante le sfide, il settore automobilistico è uno dei pilastri principali dell'economia globale e un importante motore di innovazione e progresso. Il settore è caratterizzato da un'elevata concorrenza, con tante aziende in competizione tra loro che si contendono le quote di mercato. Queste ultime sono detenute da coloro che apportano maggiori innovazioni tecnologiche che fino a quel momento nessuno è mai riuscito ad implementare. Alcune case automobilistiche come per esempio Toyota, General Motors e Volkswagen sono i diretti concorrenti di nuovi marchi come Tesla e altre startup che puntano sui veicoli elettrici. Grazie alla continua evoluzione del settore e al

suo adattamento alle mutevoli condizioni di mercato e alle tecnologie emergenti, l'industria automobilistica è destinata a rimanere un attore chiave dell'economia globale per molti anni a venire. Ma quali sono i fattori che hanno fatto evolvere il settore automobilistico?

All'inizio degli anni 2000, si pensava che l'industria automobilistica avesse già raggiunto la sua fase di maturità, caratterizzata da una solida struttura e abbastanza prevedibile. Ma da più di 10 anni, il settore sta subendo una forte turbolenza a causa di 3 fattori: i cambiamenti nei mercati, i nuovi requisiti normativi e le tecnologie.

I cambiamenti dei mercati sono spiegati dalla globalizzazione che oggi è sempre più estesa e ha avuto un impatto significativo sul settore automobilistico, poiché è stato il fenomeno che ha generato una concorrenza più intensa, ha accentuato l'importanza dell'innovazione e soprattutto ha portato ad un cambiamento delle preferenze dei consumatori. Un altro aspetto che ha cambiato il mercato è spiegato dall'emergere di nuovi mercati come Russia, Cina, India e sud America.

Anche i requisiti normativi sono stati un elemento che ha generato una turbolenza del settore dell'automotive in quanto, a causa dell'inquinamento, sono state introdotte delle normative sia a livello europeo che globale per la riduzione del consumo energetico e delle emissioni di CO₂ nell'aria. I piani istituiti dall'UE e dai principali paesi del mondo hanno l'obiettivo di ridurre la dipendenza dal petrolio per mitigare i cambiamenti climatici, in quanto, ad oggi, la maggior parte delle auto sono a benzina o diesel. Infatti, il passaggio ai veicoli elettrici e ibridi è dettato dalla necessità di rispettare le normative più stringenti, oltre dalla domanda dei consumatori per un trasporto più rispettoso dell'ambiente.

A causa di questi elementi che hanno portato turbolenza nel mercato, l'industria automobilistica ha introdotto innovazioni che avvengono raramente. Potremmo quindi prevedere che anche il modo in cui l'innovazione viene generata e diffusa, cambierà ulteriormente.

1.9 Motore a combustione interna

I veicoli a combustione interna, detti anche ICE (Internal Combustion Engine) sono stati e sono attualmente i veicoli che hanno dominato il settore dell'automotive per la gran parte degli ultimi secoli e che, con il passare del tempo, si sono evoluti grazie agli innumerevoli progressi tecnologici. Tali progressi hanno portato diversi benefici, tra cui il miglioramento dell'efficienza del carburante, la potenza del motore e la riduzione delle emissioni.

I principi tecnico-fisici degli ICE consistono nel produrre energia una volta che all'interno del motore viene bruciata una miscela di carburante insieme all'aria. L'energia generata da questo processo viene

poi convertita in potenza meccanica che viene erogata per il funzionamento del veicolo. Ci sono due tipi principali di motori a combustione interna che sono i motori a benzina e i motori diesel. In entrambi i casi il motore è combinato con un sistema di trasmissione che gestisce la potenza e che viene direttamente distribuita alle ruote del veicolo. Ancora oggi, però, se si analizza il concetto di motore a combustione interna è difficile da identificare nelle sue origini, ma da un punto di vista cronologico temporale si è in grado di capire parzialmente quali sono state le principali invenzioni e innovazioni dei motori, per esempio:

- Nel 1680, il fisico olandese Christian Huygens aveva progettato i "motori" a polvere da sparo che però non furono mai costruiti. Per quasi 200 anni, dopo le idee di Huygens, i primi motori furono "motori a combustione esterna", come i motori a vapore e ad aria calda.
- Nel 1807, lo svizzero Francois Isaac de Rivaz inventò un motore a combustione interna basato su una miscela tra idrogeno e ossigeno, ma il suo progetto non ebbe risultati positivi.
- Nel 1824, l'ingegnere inglese Samuel Brown decise di riadattare mediante un nuovo processo un vecchio motore a vapore per bruciare gas.
- Nel 1858, l'ingegnere belga Jean Joseph Étienne Lenoir ebbe l'idea di creare un motore a combustione interna a doppio effetto alimentato a gas, che poi brevettò nel 1860. Già intorno al 1850 l'industria automobilistica era abbastanza sviluppata da poter produrre motori per autovetture.
- Nel 1862, l'ingegnere francese lphonse Beau de Rochas aveva brevettato un motore a quattro tempi che però non costruì mai.
- Nel 1864, un ingegnere austriaco di nome Siegfried Marcus, costruì il primo veicolo alimentato a benzina che percorreva brevi distanze con una velocità di 10 miglia.
- Nel 1873, l'americano George Brayton, creò una macchina a due tempi alimentato a cherosene.
- Nel 1866, due ingegneri tedeschi Eugen Langen e Nikolaus August Otto migliorano i progetti di Lenoir e de Rochas e crearono un motore a gas più efficiente. Nel 1876, Nikolaus August Otto aveva creato il primo un motore a quattro tempi, noto come "ciclo Otto" che poi brevettò negli anni successivi. Grazie al suo successo, dal 1880, furono prodotti quasi 3000 motori dopo che furono concesse le licenze ai migliori produttori dei paesi industrializzati, mentre i classici volumi di "produzione" contavano 10 o 20 motori.
- Nel 1876, Sir Dougald Clerk aveva ideato il primo motore a due tempi di successo.
- Nel 1885, Gottlieb Daimler inventò il primo veicolo a due ruote, la carrozza a motore "Reitwagen", mentre nell'anno successivo, costruì il primo veicolo a quattro ruote al mondo.

- Nel 1886, Karl Benz riuscì ad ottenere il primo brevetto che impiegò per un'automobile alimentata a gas.
- Nel 1890, Wilhelm Maybach realizza il primo motore a quattro cilindri e quattro tempi.

La gran parte dei principali innovatori del settore automobilistico sopra elencati, nel periodo del XIX secolo, diedero un grosso contributo per la realizzazione di veicoli a combustione interna. Per circa 100 anni le funzioni principali di questi motori sono rimaste invariate, nonostante venissero apportate piccole innovazioni incrementali di volta in volta. Da lì in poi, anche grazie alla scoperta di nuove tecnologie, furono compiuti grandi progressi nell'evoluzione del motore che, con il passare del tempo, diventò sempre più efficiente in termini di performance. Ad oggi, nonostante gli attuali motori possono sembrare complessi e con caratteristiche tecniche completamente differenti, in realtà, funzionano secondo i medesimi principi.

Tra le varie tecnologie sperimentate per i veicoli a motore tra la fine del XIX secolo e il XXI secolo, in particolare sono tre le tipologie: i motori a vapore, i motori a combustione interna e i motori elettrici. Inizialmente, il motore elettrico era la tecnologia che potenzialmente avrebbe dovuto dominare il panorama automobilistico, ma che alla fine è stato rimpiazzato dal motore a combustione interna, il quale si è affermato maggiormente mercato. Numerosi studi hanno provato a spiegare quali sono stati i fattori che hanno condizionato l'adozione e le ricerche sono arrivate a conclusioni diverse. Alcuni sostengono che le tecnologie del motore a vapore ed elettrico erano meno performanti considerando lo stesso rapporto peso/potenza del motore a combustione interna; quindi, a parità di peso i consumatori hanno preferito quest'ultimo. Dal 1995, però, gli studiosi non si sono concentrati sulle prestazioni del motore, piuttosto sull'ambiente sociale come fattore che ha portato all'affermazione dell'ICE. Kline e Pinch nel 1996 hanno spiegato che le auto a benzina sono prevalse su quelle elettriche in quanto nelle aree rurali c'era bisogno sia di energia stazionaria, che di un servizio elettrico esteso che arrivasse anche fuori dai centri urbani, ma al momento non c'erano i presupposti per un progetto di quel tipo. Questi due aspetti hanno fortemente influenzato i cittadini a non adottare veicoli elettrici, poiché le infrastrutture non erano in grado di soddisfare le loro esigenze. Invece, Kirsch e altri autori, hanno identificato diverse barriere sistemiche e culturali che hanno ostacolato l'adozione dei veicoli elettrici (EV). Per esempio, la mancanza di uno standard tra le batterie rendeva difficile collegare un veicolo elettrico a una fonte di elettricità esterna alla casa, oppure, poiché erano diverse le compagnie elettriche che generavano elettricità, l'energia era erogata a tensioni e frequenze diverse. Altre barriere furono di tipo culturale perché le auto a benzina erano associate all'uomo e quelle elettriche alla donna; quindi, difficilmente un uomo comprava un'auto elettrica e contribuiva alla diffusione dei veicoli elettrici.

In generale, i fattori che hanno spinto all'adozione dei veicoli a combustione interna sono:

- **Potenza**, gli ICE erogano una potenza maggiore rispetto agli altri tipi di motori, conseguenza per cui hanno prestazioni migliori.
- **Versatilità**, gli ICE si adattano con vari tipi di carburante (benzina, diesel, etanolo e gas naturale) e forniscono maggiore flessibilità nella scelta del carburante in base alle preferenze.
- **Economicità**, gli ICE hanno costi di produzione più bassi tali da renderli accessibili ad un numero più ampio di consumatori.
- **Infrastrutture**, la costante presenza di infrastruttura per la produzione, la distribuzione e l'uso dei combustibili fossili ha reso gli ICE la prima scelta per i consumatori e le industrie. Inoltre, l'ampia rete di stazioni di servizio e di catene di distribuzione ha semplificato il rifornimento dei veicoli.

Gli anni tra il 1900 e il 1904, sono stati un periodo fondamentale che ha indirizzato il settore automobilistico verso una specifica traiettoria tecnologica che attualmente rappresenta il punto di partenza per i progressi e le evoluzioni del futuro. Ad oggi con i graduali progressi tecnologici e cambiamenti organizzativi, sono emerse nuove opportunità di innovazione grazie ai motori a idrogeno e ibridi, che combinano fonti di energia differenti come l'elettrico e l'ICE. Queste tecnologie hanno il potenziale per trasformare radicalmente il settore, sempre più orientato alla produzione, alla progettazione e all'ingegneria di nuovi motori in grado di ridurre l'inquinamento massimizzando comunque le prestazioni.

L'avvento dell'automobile ha fortemente influenzato diversi aspetti della società, tra cui i trasporti, la pianificazione urbana, le strategie energetiche e le politiche ambientali e industriali. Inoltre, per molti individui rappresenta soprattutto status sociale, tanto che, nonostante i problemi relativi ai danni ambientali, la domanda di automobili continuerà a crescere nei prossimi anni.

CAPITOLO 2: I CARBURANTI DEL FUTURO

2.1 Motore a combustione interna

L'energia svolge un ruolo centrale nel guidare la crescita economica delle nazioni ed è fondamentale per sostenere le economie moderne. La traiettoria futura del progresso economico dipende in larga misura dalla garanzia a lungo termine delle fonti energetiche che non siano solo accessibili e convenienti, ma anche sostenibili dal punto di vista ambientale. Attualmente, il mondo si basa principalmente su tre fonti energetiche: i combustibili fossili (come il carbone, il petrolio e il gas naturale), le energie rinnovabili (tra cui l'energia idroelettrica, eolica, solare, geotermica, marina e i rifiuti combustibili) e l'energia nucleare. Queste fonti energetiche primarie vengono convertite in fonti energetiche secondarie: il carbone e il petrolio greggio, ad esempio, vengono trasformati in elettricità e vapore. Mentre il carbone è la principale fonte di energia per la generazione di elettricità, i prodotti petroliferi, invece, dominano il settore dei trasporti, provocando ulteriori danni all'ambiente terrestre.

Con i progressi compiuti dalla tecnologia e il progredire della società, sono cresciute vertiginosamente le preoccupazioni per il riscaldamento globale e i cambiamenti climatici. Tra i vari fenomeni che danno prova di quello che sta accadendo ci sono le frequenti tempeste che avvengono "fuori stagione", lo scioglimento dei ghiacciai, l'aumento delle inondazioni nelle regioni costiere e i lunghi periodi di siccità nelle zone aride.

Da un paio di decenni a questa parte, è stato preso in considerazione ogni tipo di cambiamento climatico e si è riconosciuto il bisogno di intervenire il prima possibile per mitigare, o quantomeno placare, gli effetti del riscaldamento globale. Infatti, i Paesi di tutto il mondo si stanno impegnando a ridurre le emissioni di anidride carbonica e di altre sostanze nocive, al fine di ridurre i danni ambientali. Tra i vari settori maggiormente responsabile dell'inquinamento e del cambiamento climatico, spicca in particolar modo il settore automobilistico, il quale è composto per la gran parte da motori a combustione interna.

Ad oggi, risulta essere uno dei settori più importanti per la società moderna perché permette di trasportare persone e merci in ogni parte del mondo. Con l'incremento dell'urbanizzazione e l'industrializzazione globale, c'è stato un conseguente aumento della domanda di trasporti, soprattutto nelle città con la densità di popolazione più elevata in cui c'è maggiore concentrazione di veicoli. Per questo motivo, è stato registrato un aumento della domanda di energia necessaria per il supporto dell'industria dell'auto che, nel corso del tempo, è diventata sempre più dipendente dai combustibili derivanti dal petrolio.

Attualmente, l'industria dell'auto è quasi interamente basata sui motori a combustione interna (ICE), i quali sono per eccellenza la fonte primaria di propulsione per i veicoli di tutto il pianeta. Infatti, il 99,8% dei trasporti globali avvengono grazie a veicoli dotati di motori a combustione interna, mentre quasi il 95% dell'energia per i trasporti deriva dal petrolio. La diffusione di questo tipo di motori è spiegata da una maggiore erogazione della potenza che si traduce in una migliore performance, dall'efficacia dei costi, dalla durata in termini di autonomia e, infine, dalla compatibilità di carburanti ad alta intensità energetica che derivano da più fonti di energia. Annualmente degli 80 milioni di veicoli che sono venduti in tutto il mondo circa il 95% sono auto a benzina o diesel, a dimostrazione del fatto che i combustibili fossili hanno ancora un peso rilevante in quanto costituiscono circa l'80% del consumo totale di energia primaria mondiale. Di questo 80%, solo il settore dei trasporti rappresenta il 58% con un'incidenza veramente alta e importante. Già a partire dagli anni 90' fino a questi ultimi anni, le emissioni di anidride carbonica nell'aria sono aumentate notevolmente e secondo alcuni studi si prevede che questa traiettoria continui a crescere e a mantenere lo stesso trend. Per esempio, negli USA il settore dei trasporti dovrebbe generare un ulteriore 40% di emissioni di anidride carbonica entro il 2025, secondo le previsioni che sono state fatte da parte dell'Energy Information Administration.

Tuttavia, la dipendenza dai combustibili fossili, come benzina e gasolio, ha orientato l'intera società a conseguire nuovi obiettivi verso la sostenibilità ambientale. Infatti, diversi fattori hanno spinto alla ricerca di una soluzione agli attuali combustibili derivanti dal petrolio, tanto che sono stati proposti vari combustibili alternativi. Lo sviluppo e l'implementazione di carburanti alternativi, è stato reso possibile grazie all'evoluzione della tecnologia che ha dato l'opportunità di trovare delle vie secondarie per alimentare le automobili. Parliamo di vie secondarie in quanto al momento non sono ancora allo stesso livello dei normali motori a benzina o diesel, ma che presto diventeranno il punto di riferimento per le auto del futuro. L'adozione di carburanti alternativi è dettata da varie motivazioni, tra cui le preoccupazioni ambientali, la sicurezza energetica, progressi tecnologici, esaurimento dei combustibili fossili, salute e qualità dell'aria ed in ultima battuta dalle politiche governative che stanno mettendo in atto diversi progetti per il trasporto sostenibile. Per quanto riguarda le preoccupazioni ambientali, al fine di prevenire ulteriori danni all'ambiente, i carburanti alternativi contribuiscono a ridurre le emissioni di gas serra e altre sostanze nocive nell'aria rispetto ai carburanti tradizionali.

La sicurezza energetica, invece, è un altro fattore rilevante perché al momento i combustibili fossili oltre ad essere altamente inquinanti, sono importati solo da pochi Paesi. A questo aspetto si collega anche un altro che riguarda il fatto che le riserve da cui il petrolio viene estratto, si stanno esaurendo nel tempo e questo comporta rischi e incertezza per l'approvvigionamento energetico. Pertanto, le

incertezze sulla disponibilità del petrolio e le recenti crisi petrolifere hanno portato anche ad una instabilità dei prezzi, in quanto durante la pandemia del Covid-19 i prezzi in Europa si sono abbassati, mentre nel 2022 durante la guerra si sono raggiunti dei picchi altissimi. Di conseguenza, ciò che stanno cercando di fare molti paesi, tra cui l'Italia, è di diversificare le fonti di approvvigionamento al fine di migliorare la sicurezza energetica mediante risorse energetiche interne o rinnovabili. Inoltre, ogni qualvolta che le risorse come gas e petrolio tendono ad esaurirsi, queste diventano sempre meno accessibili da un punto di vista economico, in quanto i costi di estrazione incrementano. Quindi, se il settore automobilistico non decide di optare su combustibili diversi da quelli attuali, si riduce la possibilità di raggiungere obiettivi legati alla sostenibilità e ci sarà incertezza per l'approvvigionamento nel lungo periodo.

Per quanto riguarda la salute e qualità dell'aria, i carburanti tradizionali continuano ad inquinare l'atmosfera e gli effetti negativi si ripercuotono sulla salute delle persone e nella qualità dell'aria che peggiora sempre di più, soprattutto nelle città molto popolate in cui c'è un traffico maggiore per il trasporto di merci e persone.

In merito ai progressi tecnologici è bene sottolineare il ruolo chiave svolto dalla tecnologia, in quanto contribuisce allo sviluppo di nuovi sistemi e nuove soluzioni per l'adozione di carburanti alternativi. Inoltre, con il tempo sarà possibile rendere questi carburanti maggiormente efficienti e meno costosi una volta che verranno prodotti in larga scala. Per esempio, i progressi compiuti nelle batterie hanno favorito l'implementazione di veicoli elettrici (EV) che, rispetto a prima, hanno autonomia e capacità di ricarica superiori.

Infine, per quanto riguarda i fattori politici e normativi, i governi e gli enti normativi di tutti i paesi stanno cercando di mettere in atto politiche e regolamenti da far rispettare a ciascuna nazione, al fine di ridurre le emissioni attraverso l'adozione di carburanti alternativi. Queste misure prevedono dei limiti per le emissioni in cui ciascun paese deve limitarsi a rispettare, norme che spingono per l'adozione di carburanti green e, infine, meccanismi che prevedono la sanzione qualora non vengano rispettati i limiti imposti. Applicando questi standard, le autorità fanno in modo che le auto immesse sul mercato siano in grado di rispettare i livelli di emissioni permessi. Oltretutto, la politica supporta finanziariamente le aziende produttrici di automobili e i consumatori tramite degli incentivi economici per rendere accessibile una vettura green a più soggetti in modo tale da raggiungere gli obiettivi climatici prefissati il prima possibile. Tali incentivi sono, per esempio, i crediti d'imposta, sussidi e sovvenzioni per veicoli elettrici o ibridi e alimentati da carburanti alternativi come l'idrogeno. Inoltre, grazie alle nuove tecnologie motoristiche e l'uso di marmitte catalitiche, sono stati ottenuti dei risultati positivi. In particolare, i progetti dei motori si sono evoluti per incorporare processi di combustione più efficienti, riducendo la quantità di carburante consumato e di

conseguenza le emissioni inquinanti. Le marmitte catalitiche sono diventate un equipaggiamento standard dei veicoli, convertendo efficacemente gli inquinanti nocivi in sostanze meno dannose attraverso reazioni chimiche e la loro implementazione ha contribuito in modo significativo a ridurre le emissioni di monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx) e composti organici volatili (COV), migliorando la qualità complessiva dell'aria.

In generale, attraverso lo sviluppo di carburanti alternativi l'industria automobilistica procede nella direzione di un futuro più sostenibile, ma che al momento è ancora nella sua fase iniziale. Questo perché ad oggi il settore automobilistico è principalmente dominato da veicoli con motore a combustione interna (ICEV) che, per i prossimi decenni, avranno ancora un peso rilevante. Dopo questo lasso di tempo si dovrà valutare in modo accurato lo stato attuale del ciclo di vita di una tecnologia, in questo caso degli ICE, al fine di creare dei progetti specifici per il futuro, cercando di analizzare quali sono le opportunità in cui bisogna maggiormente investire. Infatti, la previsione tecnologica svolge un ruolo fondamentale per le società appartenenti a qualunque settore, in quanto orienta le decisioni e i programmi di ricerca e sviluppo per università e industrie. Nel momento in cui si riesce a comprendere a pieno l'evoluzione della tecnologia, tra cui il suo ciclo di vita, allora è possibile sviluppare nuove strategie competitive.

Nella parte che segue, verranno presentati le varie tipologie di carburanti alternativi che stanno emergendo nel mercato automobilistico, come: i veicoli elettrici ibridi (HEV), i veicoli elettrici a batteria (BEV) e i veicoli elettrici a celle a combustibile (FCEV) rappresentano le principali alternative. Inoltre, vedremo i motori alimentati ad idrogeno, gli e-fuel e biocarburanti. Nonostante ciò, tutte queste nuove tipologie di motori presentano varie problematiche che stanno ostacolando l'adozione diffusa, come le sfide relative ai tempi di ricarica della batteria, l'autonomia del veicolo ancora troppo bassa, i costi e la scarsa presenza di infrastrutture per la fornitura o la ricarica.

2.2 Motore a combustione interna

Il petrolio è la risorsa energetica più importante e maggiormente disponibile che, ancora oggi, rappresenta la principale fonte del consumo energetico in tutto il mondo. Il prezzo del greggio è altamente volatile, soprattutto negli ultimi anni in cui la guerra ha sconvolto l'intero mercato petrolifero fino a toccare dei picchi che sino a qualche anno fa erano impensabili. I Paesi maggiormente sviluppati consumano in media circa 43 milioni di barili al giorno, mentre quelli in via di sviluppo ne consumano circa 22 milioni. Di solito, i motori diesel vengono impiegati nel settore dei trasporti commerciali, mentre i motori a benzina sono adottati per il mercato dei trasporti pubblici,

compresi i veicoli a due ruote e i veicoli commerciali leggeri. È stato stimato, secondo la valutazione dell'IPCC sui cambiamenti climatici (Biofuel 2003), che nel 2030 la domanda globale di petrolio greggio passerà dai 75 MBD nel 2000 ai 120 MBD con un incremento dell'1,6%.

I motori diesel, ormai divenuti fondamentali per il settore automobilistico da quasi un secolo, furono introdotti da Rudolf Diesel che, nel 1898, diffuse il motore ad accensione spontanea. Con il passare del tempo, con la tecnologia furono compiuti dei progressi e dei miglioramenti della meccanica che portarono allo sviluppo di motori diesel avanzati con un'efficienza termica che andava oltre il 50%, tanto da renderli i motori più efficienti nelle categorie dei motori a combustione interna ed esterna. Inoltre, considerato il fatto che nel tempo non ci furono altri motori in grado di competere con i motori diesel, sono stati i protagonisti del XXI secolo fino ad oggi.

I motori a combustione interna si possono classificare in due categorie: quelli ad accensione spontanea (CI) e quelli ad accensione comandata (SI). In entrambi i casi è previsto un ciclo di combustione a quattro tempi che è caratterizzato dalle fasi di aspirazione, compressione, combustione e scarico e le principali differenze riguardano il metodo di accensione e nel tipo di carburante utilizzato, con conseguenti variazioni di efficienza. Infatti, i motori CI si basano sul calore che viene generato nella fase di compressione per accendere il carburante, mentre i motori SI si basano sulle candele di accensione. Il gasolio va ad alimentare i motori CI e presenta delle proprietà superiori rispetto alla benzina perché il gasolio contiene il 10-15% di energia in più rispetto alla benzina che viene invece utilizzata nei motori SI. I rapporti di compressione più elevati nei motori diesel portano a una maggiore efficienza, in quanto vi è una maggiore probabilità che le molecole d'aria reagiscano con le molecole di carburante.

Nonostante le caratteristiche tecniche e chimiche del diesel, sono state svolte ulteriori ricerche per il miglioramento di tre aspetti che sono:

- La combustione più rapida al fine di migliorare l'efficienza termica del sistema motore
- La combustione meno inquinante al fine di ridurre le emissioni di sostanze come ossidi di azoto (NOx) e idrocarburi
- Consentire la combustione con carburanti di qualità inferiore o alternativi.

Queste ricerche possono essere suddivise in studi fondamentali, incentrati sui meccanismi di combustione e sulla struttura della fiamma, e in studi parametrici, che prevedono l'ottimizzazione della combustione attraverso l'esplorazione di variabili del motore, come le caratteristiche del getto di carburante, il movimento dell'aria e la geometria della camera di combustione.

Anche il motore a benzina si basa sul ciclo di combustione a quattro tempi, ma ha delle differenze nell'accensione che invece è a scintilla. Oltretutto, i motori a benzina hanno velocità di rotazione (in

termini di giri al minuto) maggiori rispetto ai motori diesel che permette ai motori a benzina di erogare potenze più elevate per le loro dimensioni. Però bisogna considerare che i motori a benzina hanno un'efficienza termica inferiore rispetto ai motori diesel, in quanto parte dell'energia contenuta nel carburante viene dispersa come calore. Nonostante ciò, rimane comunque una vettura molto venduta e apprezzata dai clienti, soprattutto per quanto riguarda la categoria di veicoli di lusso che per la maggior parte sono alimentati a benzina. Un aspetto da considerare è che i veicoli a benzina dal punto del consumo di carburante, sono meno efficienti anche se il costo iniziale del veicolo e la manutenzione sono inferiori. Tuttavia, così come per i motori diesel anche per quelli a benzina gli esperti stanno continuando a fare progressi nella progettazione ed efficienza, anche se si prevede verranno sostituiti in futuro da veicoli più green. Infatti, negli ultimi anni è aumentato l'interesse per i veicoli ibridi, elettrici, a idrogeno e veicoli alimentati da e-fuels o biocarburanti come alternativa ai tradizionali motori a benzina, in modo tale da ridurre sia i consumi che le emissioni.

2.3 Motori ibridi

Negli ultimi anni, le auto ibride sono i veicoli che si sono maggiormente diffusi tra i nuovi modelli prodotti all'interno del settore automobilistico e che si contraddistinguono in quanto prevedono la combinazione di almeno due fonti di alimentazione distinte: un motore a benzina/diesel e un motore elettrico o a batteria (HEV). Queste due tipologie di combinazioni innovative non sono completamente nuove perché già nel 1898, Ferdinand Porsche, aveva introdotto un modello ibrido, mentre nel 1905 c'era un brevetto che spiegava il funzionamento tra un motore elettrico alimentato a batteria e un motore a carburante, il quale serviva a migliorare l'accelerazione della macchina nella fase della partenza. Tuttavia, l'implementazione e la diffusione degli HEV hanno visto davanti a sé numerose sfide, tra cui quella di riuscire a combinare le forze motrici meccaniche del motore con quelle del motore elettrico. Il trampolino di lancio dei motori ibridi è avvenuto nel 1997 quando la Toyota ha lanciato per la prima volta sul mercato un suo modello: la Toyota Prius. Da quel momento in poi sono iniziati i progressi degli HEV che fino ad oggi hanno avuto un'importante crescita e che hanno subito un'accelerazione, contribuendo ai vari progressi nel settore. I veicoli di questo tipo non sono altro che un buon compromesso tra auto che hanno buone performance in termini di prestazioni del motore e tra auto che sono in grado di rispettare le normative sulle emissioni poiché inquinano meno. Inoltre, hanno un'autonomia abbastanza lunga, sono affidabili e convenienti, tutti aspetti che un consumatore tiene in considerazione nella fase di selezione e di acquisto del veicolo.

Le auto ibride si distinguono dalla categoria dei veicoli elettrici, in quanto quest'ultimi prevedono l'uso esclusivo di batterie elettriche.

Tra i veicoli ibridi, ci sono tre tipologie in particolare che differiscono tra loro per alcune funzioni nei motori, a cui poi si è aggiunta anche una quarta tipologia. Più precisamente sono:

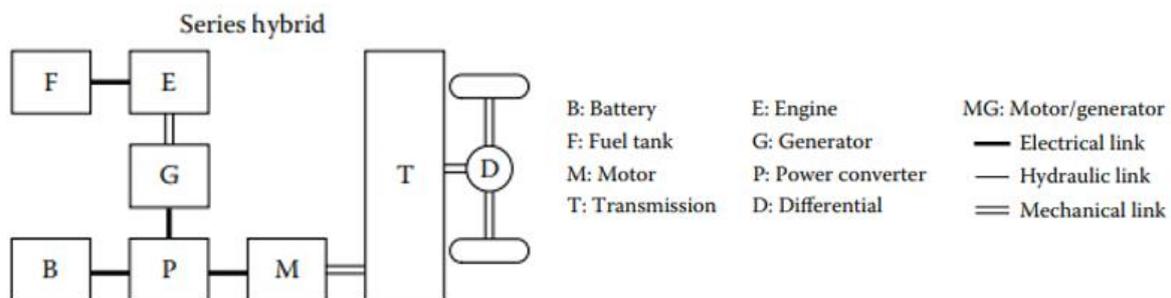
- Mild hybrid (ibridazione leggera): la tecnologia Mild Hybrid combina i tradizionali motori a benzina o diesel con un motore elettrico di piccole dimensioni. A differenza dei full-hybrid e dei plug-in hybrid, il motorino elettrico non è in grado di far funzionare veicolo in modo indipendente senza l'aiuto di altri motori. Infatti, la sua funzione principale è quella di fornire una piccola spinta aggiuntiva al motore termico e fa in modo che l'auto, soprattutto nella fase di partenza, abbia uno sprint maggiore. In questo modo a basse velocità, soprattutto nei centri urbani dove c'è maggiore traffico, l'auto viaggia prevalentemente in modalità elettrica e consente di ridurre sia i consumi che l'inquinamento atmosferico. La batteria durante la fase della frenata sfrutta l'energia creata per ricaricarsi, assicurando una fornitura continua di energia elettrica per il motore.
- Full hybrid (ibridazione piena): le auto Full-Hybrid hanno un motore più complesso rispetto alle Mild Hybrid, in quanto possiedono un motore elettrico che è più potente e una batteria con maggiore capacità. In questo modo la vettura è in grado di percorrere vari chilometri in modalità elettrica, consentendo di risparmiare in costi dei carburanti e di ridurre le emissioni. Chiaramente, la modalità elettrica rende maggiormente quando si viaggia a velocità più basse poiché la potenza necessaria per far andare l'auto è minore. Il sistema di queste vetture prevede che la batteria si ricarichi durante le fasi di decelerazione e la frenata che generano energia elettrica sufficiente alla batteria che, a quel punto, non deve essere necessariamente collegata ad una colonnina per la ricarica. In questo modo non c'è bisogno di una ricarica manuale, ma il tutto avviene in modo automatico e permette di sfruttare al meglio il motore elettrico che, grazie alle sue proprietà, non inquina l'aria.
- Plug-in hybrid: le auto ibride plug-in, invece, sono una via di mezzo tra le full hybrid e i veicoli completamente elettrici. La meccanica di questi veicoli prevede il classico motore a combustione con uno o più motori elettrici. Quest'ultimi sono alimentati da batterie agli ioni di litio e possono essere ricaricate attraverso un sistema di rigenerazione durante le fasi di decelerazione e frenata, dove il calore prodotto durante quelle due fasi viene inglobato e convertito in energia, assicurando anche in questo caso la fornitura continua ai motori elettrici. Inoltre, nonostante le batterie si possano ricaricare autonomamente, queste possono ricaricarsi anche manualmente collegando un cavo a una stazione di ricarica elettrica. A quel punto, le batterie vengono caricate al 100% e sono in grado di percorrere più chilometri in quanto hanno un'autonomia più ampia. Tale tecnologia è capace di capire quando attivare il motore elettrico

o quello a combustione, o se è il caso di attivare direttamente entrambi i motori in base alla velocità di percorrenza e alle esigenze dell'auto. Di solito a bassa velocità, gli ibridi plug-in funzionano con l'energia elettrica, poiché il motore elettrico è in grado di far andare il veicolo da solo. Infine, un altro aspetto importante è che in molti casi esiste a bordo della vettura un comando che attiva manualmente la modalità 100% elettrica. In media, gli ibridi plug-in con la batteria completamente carica sono in grado di percorrere circa 50-80 chilometri prima che il motore a combustione si attivi, anche se tale autonomia non è ancora abbastanza elevata. Nonostante ciò, quando si attiva la modalità full-Electric si riducono notevolmente il consumo di carburante e le emissioni di Co2 nell'aria, soprattutto per gli spostamenti brevi e nei centri abitati.

- Extended range electric vehicle: corrispondono ai veicoli plug-in in cui la trazione e la propulsione del veicolo sono basate sui motori elettrici. La funzione principale del motore a combustione, in questi casi, è di mantenere il livello di carica e la funzionalità delle batterie. Rispetto ai classici veicoli ibridi dove il motore a combustione e quello elettrico lavorano simultaneamente, in questo caso il motore elettrico è alla base di tutto. Quindi, nel momento in cui le batterie iniziano a esaurire la loro carica, il motore a combustione carica le batterie stesse. In questo modo, rispetto agli EV, l'autonomia è maggiore.

Le tipologie appena elencate sono le quattro possibili combinazioni di motori ibridi che sono presenti sul mercato e che si stanno sempre più diffondendo grazie all'adozione da parte dei consumatori finali. Queste combinazioni sono caratterizzate allo stesso tempo da delle configurazioni specifiche che sono: configurazioni ibride in serie, in parallelo, in serie-parallelo e infine l'ibrido complesso. Per quanto riguarda la **configurazione ibrida in serie**, si caratterizza poiché il motore è collegato direttamente ad un generatore che produce elettricità, impiegata poi per la propulsione elettrica. L'elettricità che si viene a creare, pertanto, serve sia per caricare la batteria che ad alimentare il motore elettrico. Il problema è che i motori sono tre tra motore, generatore e motore elettrico (come mostrato in figura) e vanno calibrati nella giusta maniera se si vogliono ottenere prestazioni migliori.

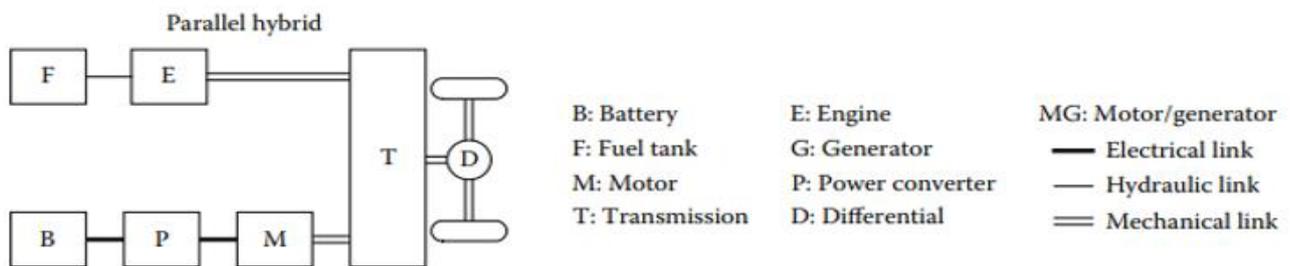
Figura 7



In questo caso, l'efficienza del motore ibrido in serie è inferiore rispetto ai motori termici, in quanto nella conversione di energia dal motore termico a quello elettrico, parte dell'energia prodotta si disperde. Nonostante ciò, l'ibrido in serie inquina meno di un normale motore a benzina o diesel permettendo di risparmiare in termini di costi sul carburante.

La seconda **configurazione** è quella **ibrida in parallelo** che, come dice il nome stesso, eroga potenza parallelamente sia dal motore termico che dal motore elettrico. La potenza viene erogata direttamente alle ruote del veicolo e può avvenire solo da un motore (in quel caso un solo motore lavora e l'altro rimane spento) oppure da entrambi. Il motore elettrico può ricaricarsi autonomamente durante la fase di frenata o direttamente dall'altro motore.

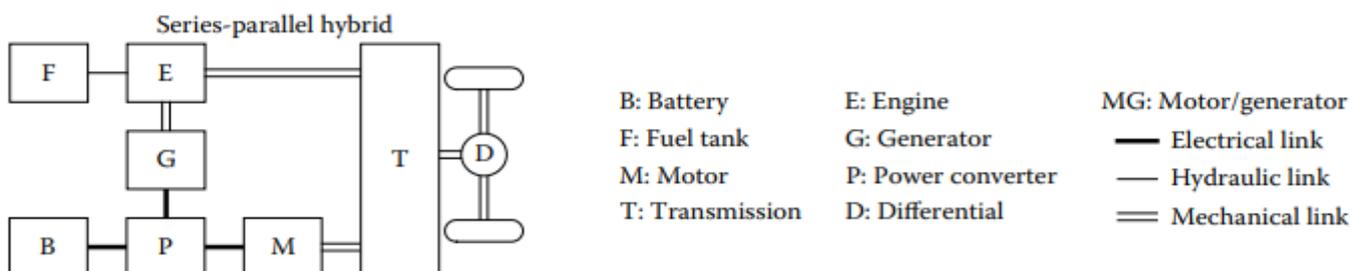
Figura 8



A differenza dell'ibrido in serie, questo richiede solo due dispositivi per il funzionamento ed è il sistema che viene adottato per la gran parte delle auto ibride.

La terza **configurazione** è quella relativa all'ibrido **in serie-parallelo** che prevede la combinazione degli elementi e delle caratteristiche relative all'ibrido in serie e all'ibrido in parallelo, ma che include un ulteriore collegamento meccanico rispetto all'ibrido in serie e un altro generatore rispetto all'ibrido parallelo. Chiaramente, nonostante questa configurazione possieda delle caratteristiche vantaggiose derivanti da entrambe le configurazioni, l'ibrido in serie-parallelo è un sistema più articolato e maggiormente costoso a causa delle sue componenti aggiuntive. Però, quando il conducente decide di viaggiare a velocità bassa il primo motore che si avvia è quello elettrico, se viaggia ad una velocità normale si attiva il motore a diesel o benzina (a seconda del tipo di carburante) e, infine, se viaggia a velocità elevate che richiedono una maggiore energia da convertire in potenza, vengono impiegati entrambi i motori.

Figura 9



Una flessibilità di questo tipo consente di ottenere benefici sia da un punto di vista dei consumi, considerando che in città si viaggia prevalentemente a bassa velocità e viene impiegato solo il motore elettrico (il quale fornisce buone prestazioni soprattutto in fase di accelerazione in quanto è più reattivo di un normale motore termico), sia da un punto di vista ambientale in quanto l'inquinamento atmosferico è ridotta al minimo.

La quarta e ultima **configurazione** è quella **ibrida complessa** che prevede un flusso di potenza bidirezionale della macchina elettrica nell'ibrido complesso, rispetto al flusso unidirezionale del generatore nell'ibrido serie-parallelo. Tale flusso, a tre propulsori, coinvolge un motore termico e due motori elettrici, configurazione che non può essere raggiunta dall'ibrido in serie-parallelo. Nonostante ciò, comporta una struttura più complessa e soprattutto dei costi superiori rispetto ad altre configurazioni.

In generale, i veicoli ibridi si sono sempre più diffusi nel corso degli anni anche se, ancora oggi, rappresentano una piccola percentuale rispetto ai veicoli che ci sono in circolazione in tutto il mondo. Tuttavia, ci sono alcuni vantaggi e svantaggi che influenzano le scelte dei consumatori nell'adozione di questa tipologia di veicoli.

Vantaggi

- Le auto ibride inquinano meno delle auto a benzina a diesel: mentre i veicoli con il motore a combustione emettono ingenti quantità di CO_2 nell'aria e sono responsabili per buona parte del riscaldamento globale, i veicoli ibridi hanno un impatto positivo sull'ambiente in quanto oltre al normale motore a benzina o diesel, sono dotati di un motore elettrico. Nel momento in cui si utilizza l'elettricità per far funzionare l'auto, in quel caso non ci sono emissioni, ma questo dipende comunque da dove deriva l'energia elettrica utilizzata. Anche se l'energia che viene utilizzata per ricaricare la macchina, per esempio, deriva da fonti di combustibili fossili, il veicolo ibrido aiuta a ridurre in piccola parte l'inquinamento. Però se si guarda il presente e il futuro siamo in un percorso in cui si sta andando verso la transizione energetica e le fonti rinnovabili; pertanto, i motori ibridi insieme alle rinnovabili aiuteranno a ridurre l'inquinamento dell'aria se si considera che un veicolo il motore di un veicolo ibrido potrà essere ricaricato da elettricità che deriva da una fonte rinnovabile.
- Le auto ibride consentono di risparmiare sul carburante: il veicolo ibrido dipende meno dai carburanti tradizionali, grazie ai motori più efficienti. Rispetto alle normali auto a benzina o diesel, c'è bisogno di una quantità minore di carburante per il funzionamento del veicolo.

Inoltre, per l'acquisto delle auto ibride ci sono incentivi fiscali, come negli USA in cui il governo federale offre un credito d'imposta per chi acquista veicoli ibridi plug-in.

- Le auto ibride sono più silenziose: rispetto ai veicoli a benzina emettono meno rumori in quanto dotate di motori elettrici.
- Le auto ibride hanno meno manutenzione: rispetto agli altri veicoli richiedono meno manutenzione in quanto vengono coinvolti due motori e questo fa sì che ciascun motore abbia meno probabilità di usurarsi rispetto ad un'auto che ne possiede solo uno. Anche le operazioni di manutenzione ordinaria avvengono con "meno frequenza".

Svantaggi

- Costo iniziale più elevato: le auto ibride hanno un costo iniziale che è maggiore rispetto ad una tradizionale auto a combustione interna. I prezzi si avvicinano quasi alle auto di lusso e hanno canoni di leasing più elevati; costi che vengono in parte compensati dal risparmio del carburante. Tali costi sono relativi a motori elettrici, batterie e i sistemi di frenate rigenerative, per esempio.
- Costo manutenzione: è vero che le auto ibride richiedono una minore manutenzione, ma è anche vero che, quando la manutenzione o le riparazioni sono necessarie, generalmente sono più costose, soprattutto per le batterie. Anche alcune componenti meccaniche e tecnologie create ad hoc per questi veicoli, spesso costano di più per i relativi pezzi di ricambio. La sostituzione della batteria può essere onerosa, anche se i progressi tecnologici hanno placato in parte questo problema.
- Autonomia limitata in modalità elettrica: un veicolo ibrido se in modalità full Electric ha un'autonomia nettamente più bassa e che si esaurisce in poco tempo.
- Peso e spazio: i sistemi ibridi hanno componenti aggiuntive che appesantiscono la macchina e rende le performance meno soddisfacenti. Se il motore elettrico si scarica si aziona solo il motore a carburante che deve sopportare l'intero peso della macchina, compreso il motore elettrico che rimane spento. In termini di spazio, la disposizione di due motori occupano maggiori volumi e quindi anche il bagagliaio si riduce in capienza.

I veicoli ibridi presentano vantaggi e svantaggi che variano a seconda del modello specifico e dal tipo di guida del conducente, ma in generale sono la fase transitoria per passare ad un trasporto più sostenibile ed efficiente.

2.4 Motori elettrici

Come già accennato all'inizio del secondo capitolo, ogni giorno si sente parlare sempre di più dei problemi relativi all'incertezza sull'approvvigionamento del petrolio e sul cambiamento climatico come due potenziali minacce per l'intero pianeta. Pertanto, al fine di trovare una soluzione comune a questi problemi si stanno cercando delle nuove alternative per i veicoli su strada e sembrerebbe che proprio i veicoli elettrici a batteria (BEV, Battery – Electric – Vehicles) possano essere una soluzione tra le tante plausibili. Come vedremo, siamo ancora agli inizi di questa fase verso il cambiamento, per cui ci sono e ci saranno diverse barriere da affrontare affinché i veicoli elettrici possano avere un ruolo chiave all'interno del mercato automobilistico.

In generale, i veicoli elettrici vengono classificati secondo due categorie differenti: gli ibridi elettrici chiamati “Hybrid Electric Vehicles” (HEVs) appena visti nel paragrafo precedente e gli elettrici puri chiamati “Electric Vehicles” (EVs). Mentre i primi prevedono l'utilizzo sia di un motore elettrico che di uno a combustione interna alimentato a benzina o diesel, i secondi invece sono formati solamente da batterie e da almeno un motore puramente elettrico. Ed è proprio per questo motivo che si parla di veicoli elettrici a batteria (BEV) o veicoli elettrici (EV). C'è un'ulteriore “categoria” di veicoli elettrici che oltre al motore elettrico sono presenti le celle a combustibile e in quel caso prendono il nome di veicoli elettrici a celle combustibile (FCEV, Fuel – Cell – Electric – Vehicles). Il primo veicolo elettrico venne costruito nel 1834 da Thomas Davenport che però non ebbe grande successo poiché agli inizi degli anni Novanta nacquero i primi motori a combustione interna e da quel momento in poi a partire dagli anni 30, i veicoli elettrici iniziarono la loro fase di declino. Dopo quasi cinquant'anni, nel 1970 circa, riemerse un notevole interesse per i veicoli elettrici dopo che ci fu la crisi energetica e una minore disponibilità del petrolio sul mercato. Pertanto, l'industria automobilistica si mise in movimento per cercare delle soluzioni ai veicoli con motore a combustione e decise di optare per i veicoli elettrici. In realtà, non ci fu mai un grande progresso verso queste nuove tecnologie che rimasero in stallo sino alla fine degli anni Novanta, quando iniziarono le prime problematiche relative al cambiamento climatico e al surriscaldamento globale.

Da un punto di vista globale, i veicoli elettrici prevedono il coinvolgimento di più elementi per la componente meccanica, ma il ruolo più importante viene svolto dalla batteria, in quanto è l'accumulatore di energia che, dopo averla immagazzinata, rilascia l'energia stessa al motore che serve poi a far muovere il veicolo. Il sistema degli EV prevede che i motori elettrici vadano a catturare l'elettricità da una batteria.

Attraverso numerosi studi si stanno facendo nuove ricerche per ottenere nuovi progressi tecnologici nelle batterie, in modo tale da migliorare ulteriormente le prestazioni del veicolo. I miglioramenti

vengono fatti sulla base dei progressi già raggiunti nei veicoli a benzina/diesel, al fine di ottenere le medesime performance, la stessa affidabilità, la stessa durata e soprattutto lo stesso costo (questi elementi verranno ulteriormente approfonditi nella parte successiva di questo paragrafo relativo ai motori elettrici).

Così come per le auto tradizionali a combustione, anche le vetture elettriche presentano delle dispersioni di energia, in particolar modo nella parte di gestione della batteria e nel sistema di raffreddamento, i quali sono i fattori responsabili della regolazione della temperatura della batteria. Se il sistema di gestione della batteria è implementato correttamente, allora c'è una maggiore sicurezza nel monitorare lo stato della batteria e una migliore erogazione della corrente per la fase di ricarica. Questo è importante perché nella fase di ricarica una determinata parte dell'energia è convertita in calore e successivamente si disperde, soprattutto se si tratta una batteria al piombo-acido che viene caricata di più rispetto a quella che è la sua capacità nominale per la carica completa. Però, la dispersione di energia non solo avviene nel sistema di ricarica, ma anche durante la fase di guida a causa della resistenza presente all'interno della batteria (Ogura, 1997). Pertanto, una migliore gestione sulla perdita di energia e il miglioramento delle prestazioni della batteria sono due aspetti da cui bisogna partire e su cui ci si deve concentrare al fine di rendere più efficienti i veicoli elettrici.

Nei veicoli elettrici (EV), le batterie hanno la medesima importanza che ha il motore a combustione interna nei veicoli tradizionali, poiché costituisce l'elemento portante per il funzionamento dell'auto. Le batterie vengono classificate in due tipi differenti: le batterie primarie e le batterie secondarie.

- **Batterie primarie:** si caratterizzano in quanto vengono a crearsi reazioni chimiche irreversibili in cui l'energia chimica viene convertita in energia elettrica. Quando la batteria viene utilizzata al 100% della sua capacità e quando vengono consumati i reagenti iniziali, l'energia della batteria non si può rinnovare attraverso mezzi elettrici. Proprio per questo motivo a differenza delle batterie secondarie, le batterie primarie hanno densità energetiche maggiori e sin dall'inizio erogano energia in modo istantaneo, anche se poi sono da eliminare una volta che si scaricano completamente. Alcuni esempi di batterie primarie sono le batterie alcaline e le batterie zinco-carbone (batterie usa e getta).
- **Batterie secondarie:** a differenza delle altre sono ricaricabili e sono dotate di caricabatterie che vengono utilizzati per caricare le batterie come allo stato iniziale. Questa tipologia viene soprattutto impiegata nei veicoli elettrici perché permettono di effettuare dei cicli ripetuti di carica e scarica.

Ad oggi, inoltre, attraverso le attività di innovazione e ricerca vengono sperimentate nuove soluzioni tecnologiche che permettono di aumentare le prestazioni delle batterie stesse. In questo modo sarà

possibile incrementare la densità energetica, la velocità con cui una batteria viene ricaricata e la durata in termini di autonomia, favorendo così la transizione verso un trasporto sempre più green.

Al momento però, le batterie, poiché caratterizzate da cicli di carica e scarica, hanno ancora una durata che non è sufficientemente solida nel lungo periodo e che, dopo un certo periodo di tempo, tendono ad usurarsi, peggiorandone le prestazioni. Questo è uno dei punti deboli delle batterie negli EVs ed è per tale motivo che si vuole migliorare la durata dei “Cicli di vita” perché una volta iniziata la fase di declino, le batterie tendono a morire e non sono più riutilizzabili. Per questa ragione, gli esperti stanno già mettendo in atto delle tecniche e delle strategie per far fronte a tale problematica tramite nuove tecnologie avanzate, che consentono di ottimizzare e allungare i cicli delle batterie (oltre i 1000 per una durata totale di circa 10 anni). Al fine di prolungare la durata delle batterie, sono stati anche individuati i principali elementi da tenere in considerazione durante la loro produzione in modo tale da farle durare più a lungo e sono: alta efficienza energetica (per ridurre le perdite di energia nelle fasi di carica e scarica); capacità di funzionamento con varie temperature di esercizio; capacità di adattamento alle ricariche rapide; capacità di sopportare sovraccarichi e scariche eccessive per non subire danni importanti; affidabilità nel funzionamento; bassa manutenzione; struttura solida che resiste agli abusi; sicurezza nell'utilizzo; uso di materiali economici, reperibili in modo rapido e non inquinanti; possibilità di recuperare i materiali quando il ciclo di vita delle batterie termina; fornire un'elevata capacità energetica rispetto al peso e alle dimensioni della batteria.

Quando nei veicoli elettrici deve essere effettuata la scelta su quale tipo di batterie e quale tecnologia scegliere, vengono presi in considerazione vari aspetti (già elencati prima) come il peso, il costo, l'autonomia e la durata. Tutti questi elementi giocano un ruolo chiave perché si dovrà scegliere se optare per una batteria agli ioni di litio, piuttosto che a celle al piombo. Questo perché serve a calibrare il giusto rapporto tra la potenza e l'autonomia della vettura, in quanto la proporzione tra capacità della batteria e autonomia non è mai perfettamente bilanciata. Infatti, il peso di una batteria per ottenere un'autonomia di 150 km varia tra i 150 kg e 500 kg e siamo ancora lontani dal rapporto 1 a 1 tra peso e chilometro. Quindi, se si effettuano degli errori e si calibra male il rapporto peso/potenza, il rischio è che la macchina sia meno efficiente durante i tragitti su strada con performance basse.

Le batterie sono classificate in base alla tipologia e componenti chimico-fisiche che la compongono: ci sono batterie che possono essere batterie al piombo-acido, oppure batterie a nickel, o ancora batterie a litio.

- **Batteria a piombo-acido:** è un prodotto che è in commercio da molti anni e che ancora oggi svolge un ruolo fondamentale, soprattutto nell'industria dell'auto. Questa tipologia di batteria è considerata così importante poiché è affidabile, economica e conosciuta sul mercato. Chiaramente, dopo che sono stati fatti numerosi progressi tecnologici, sono state create delle

batterie più performanti che hanno densità energetiche più alte e una durata del ciclo di vita maggiore. Viene ancora mantenuta sul mercato perché è molto competitiva, soprattutto per il suo costo relativamente basso che è di circa 100 dollari/kWh e poi perché si adatta bene per l'utilizzo in città quando vengono percorse distanze più brevi. Nonostante sia una tecnologia consolidata e nonostante abbia una capacità di potenza buona, ha ancora una densità energetica limitata. Altre problematiche sono relative ai tempi lunghi di ricarica, la manutenzione e le scarse prestazioni quando il clima ha temperature inferiori a 10°C. Però è stata introdotta una nuova batteria, VRLA (Valve-Regulated-Lead-Acid), che, grazie ai nuovi progressi tecnologici, ha tempi di ricarica più brevi poiché riesce a raggiungere il 50% di ricarica in soli 5 minuti e l'80% in 15 minuti. Questo tipo di batteria a piombo-acido è in grado di compensare alcune delle problematiche che tale tipo di batterie presentano.

- **Batteria a nickel:** è un'altra tipologia di batteria che presenta delle proprietà chimico-fisiche di fondamentale importanza. Solitamente tali batterie vengono impiegate nei veicoli ibridi, come nel caso della Toyota Prius, ma che presentano dei costi più alti rispetto alle batterie precedenti pari a circa 700-800 dollari/kWh. Nonostante le sue proprietà, questo tipo di batterie sono considerate "mature", in quanto hanno raggiunto il massimo auspicabile delle loro potenzialità sia nelle loro funzioni che nelle caratteristiche, quindi non ci sono margini di crescita. Inoltre, a causa della loro bassa densità energetica che si aggira intorno ai 60-80 Wh/kg, non è sufficiente per un veicolo totalmente elettrico, piuttosto un veicolo ibrido come già detto prima perché il motore non lavora da solo e quindi fornisce supporto a quello a combustione.
- **Batterie a litio:** è l'altra tipologia di batterie che si sta notevolmente sviluppando dove il litio è un metallo più leggero che possiede delle proprietà elettrochimiche che possono essere sfruttate su più parti. Un elemento che caratterizza tale tipologia di batteria è quello relativo alla capacità di energia, poiché queste batterie hanno ottime capacità energetiche. Ci sono due tipologie di batterie a litio: quelle ai polimeri di litio che sono molto affidabili e soprattutto consentono di comporre la batteria secondo diverse forme rendendole adattabili; l'altra tipologia è quella agli ioni di litio che hanno alta densità energetica, un ciclo di durata superiore e garantiscono maggiore potenza per il veicolo. Rispetto alle batterie a piombo acido che per ottenere 200 km di autonomia richiedono più di 500 kg di piombo, per quelle a ioni di litio servono 150 kg di litio. Il problema di queste batterie è che hanno cicli di vita ancora troppo brevi e che hanno ancora costi molto più elevati delle altre due.

Ogni batteria presenta dei punti di forza e debolezza su cui bisogna prestare attenzione tra prestazioni, autonomia, durata e costo. Pertanto, in base al caso viene fatta una valutazione su quali tra queste batterie sia quella effettivamente più idonea all'applicazione del modello del veicolo.

Proprio per questo motivo analizziamo quali sono i benefici derivanti dall'adozione dei veicoli elettrici:

- In primo luogo, la sostenibilità ambientale è sicuramente uno degli aspetti più rilevanti, infatti i veicoli elettrici possono essere la via per ridurre le emissioni di gas serra e l'inquinamento atmosferico. A maggior ragione questo avviene qualora gli EVs siano alimentati da fonti di energia rinnovabili.
- I veicoli elettrici sono efficienti dal punto di vista energetico perché prevedono uno spreco minore di energia e, soprattutto, consumano meno energia rispetto ai motori a combustione interna convenzionali.
- I veicoli elettrici non sono rumorosi, contribuendo all'eliminazione dell'inquinamento acustico.
- Infine, un altro aspetto da considerare è che, grazie agli EV, è possibile diversificare l'approvvigionamento energetico e ridurre la dipendenza dai combustibili fossili.

Nonostante i numerosi benefici dall'adozione di veicoli elettrici, al momento ci sono varie sfide e problematiche da affrontare:

- Attualmente i veicoli elettrici hanno ancora un costo iniziale che è ben più elevato rispetto alle auto a benzina e diesel. Il costo è dettato principalmente dalle batterie essendo le componenti principali dei veicoli elettrici.
- Il problema relativo alle infrastrutture di ricarica, in primo luogo per il tempo di ricarica, in quanto è ancora lungo rispetto al normale rifornimento dei veicoli tradizionali, nonostante siano già stati fatti dei progressi che hanno migliorato le tempistiche. In particolare, sono problematiche le ricariche pubbliche che hanno tempi ancora troppo lunghi e spesso capita che i viaggiatori quando devono percorrere viaggi lunghi, devono programmare le soste per la ricarica del veicolo che sono lunghe. L'altro problema relativo alle infrastrutture di ricarica è che ancora sono insufficienti in numero, poiché sono ancora poche quelle installate. Questo comporta difficoltà nel trovare delle colonnine libere e nel raggio di pochi km, soprattutto nelle aree meno popolate.
- L'altra sfida è l'autonomia di guida limitata dato che le batterie hanno ancora una bassa capacità energetica. Anche questo aspetto influenza i viaggi a lunga distanza.

- Un altro punto chiave è l'accettazione da parte dei clienti finali che, al verificarsi delle problematiche appena elencate, non sono incentivati ad acquistare i veicoli elettrici perché su una valutazione tra i punti di forza e di debolezza, attualmente prevalgono di più gli aspetti negativi. Pertanto, è più difficile provare a cambiare le preferenze dei consumatori in poco tempo, ma serviranno ancora anni.

I limiti appena presentati sono il punto di partenza del settore automobilistico per migliorare gli EVs, grazie ai grandi progressi della tecnologia. In particolare, poiché siamo nella fase di transizione del cambiamento della tipologia di veicoli che verranno venduti in futuro, l'articolo di "Nele Rietmann" del 2020 ci parla di uno studio che tenta di dimostrare quante auto elettriche verranno vendute nei prossimi anni. Andando più nel dettaglio, questo studio è stato condotto in 26 paesi dei cinque continenti e analizza quanto crescerà il numero di vendite di auto elettriche fino al 2035, partendo da: l'inventario totale delle auto; inventario EV, quota di mercato degli EV; vendite annuali di veicoli elettrici; crescita annuale delle vendite degli EVs. Il campione di dati, il quale va dal 2010 e il 2018, considera non solo veicoli elettrici, bensì anche gli ibridi plug-in che, nel lungo termine, dovrebbero essere sostituiti dagli EVs. I risultati ottenuti hanno dimostrato che già nel 2018 le vendite mondiali di veicoli elettrici erano arrivate a 2,1 milioni di unità e in circolazione in tutto il mondo, sempre alla fine del 2018, c'erano di 5,4 milioni di auto elettriche. Entro il 2035 l'inventario globale di veicoli elettrici è previsto a circa 440 milioni di unità che corrisponde al 42,5% dell'inventario totale di automobili. Per il 2032, invece, si prevede che i veicoli elettrici siano il 30% di tutti i veicoli in circolazione sul pianeta. Questo indica che siamo davanti ad un cambiamento significativo del settore delle auto, di cui una buona parte è costituita dai veicoli alimentati dall'elettricità. In ottica futura il successo dei veicoli elettrici, così come quelli ibridi, dipendono sia dai progressi tecnologici, che da quelli con motore a combustione interna, soprattutto se si considera che per questi ultimi è previsto un miglioramento del 30% l'efficienza dei consumi. Questo potrebbe chiaramente favorire ancora la vendita dei veicoli tradizionali e anche quella degli HEV, mentre i veicoli elettrici rischiano di restare più indietro a causa delle minori efficienze e degli elevati costi. Quest'ultimo aspetto è importante perché, mentre gli HEV hanno iniziato ad avere una diminuzione dei costi dalla fine degli anni 90', i veicoli elettrici non sono ancora in grado di competere in termini di costi con gli altri veicoli e potrebbero volerci ancora molto tempo. Un altro fattore a sfavore dei veicoli elettrici è che hanno minore autonomia e che per i viaggi più lunghi un consumatore razionale che ha necessità di viaggiare, preferisce acquistare un veicolo ibrido o un veicolo con motore a combustione. Però, un fattore che può favorire la diffusione dei veicoli elettrici a batteria sono le normative politiche ed economiche, le quali prevedono sanzioni pesanti per quei paesi in cui l'aria è altamente inquinata e

che devono necessariamente ridurre le emissioni e, considerando che il settore automobilistico è uno dei maggiori responsabili, i veicoli elettrici sono una possibile soluzione. Inoltre, i governi stanno mettendo in atto maggiori politiche di incentivazione rispetto ai veicoli ibridi perché questi sono ancora troppo inquinanti, anche se meno rispetto agli ICE.

2.5 Motori a idrogeno

A partire dagli inizi del XXI secolo l'idrogeno si è candidato come combustibile alternativo attirando sempre di più l'attenzione in tutto il mondo. Già dagli anni 90' l'idrogeno venne utilizzato come combustibile nei periodi di crisi energetica e durante le guerre, ma dato che i carburanti derivanti dal petrolio erano più avanzati, l'idrogeno fu una risorsa che non riuscì mai a decollare. Vista però l'attuale situazione climatica ed energetica, negli ultimi anni l'idrogeno è visto sempre di più come fattore chiave tra le varie opzioni di combustibili rinnovabili e puliti.

Attualmente è l'elemento più abbondante nell'universo e, tra i carburanti, ha il più alto contenuto energetico di qualsiasi carburante comune in peso, anche se presenta una bassa densità energetica in volume. Può essere prodotto in maniera differente e a seconda del processo di produzione, può produrre CO₂ nell'aria o può essere carbon-free. Per il momento, infatti, l'idrogeno viene prodotto a partire dai combustibili fossili, nonostante anche l'elettricità venga impiegata per la realizzazione.

Poiché si tratta di un carburante privo di carbonio, è un'ottima soluzione per i motori a combustione interna (ICE) perché, se questi ultimi vengono alimentati ad idrogeno, una volta che brucia rilascia solamente acqua. Pertanto, tutte le sostanze inquinanti, come monossido di carbonio, piombo e fumo, verrebbero eliminate e sarebbero in grado di garantire un trasporto sostenibile.

Tuttavia, esistono diversi modi che sono in grado di produrre l'idrogeno e ognuno prevede dei processi di produzione differenti che danno vita anche ad un tipo di idrogeno differente. In questo senso, si va ad analizzare quali tipi di idrogeno sono più sostenibili rispetto ad altri a seconda del loro impatto ambientale ed in particolare si distinguono tra:

- **Idrogeno grigio:** attualmente quasi tutto l'idrogeno prodotto è grigio perché deriva da combustibili fossili come il gas naturale. Questo processo è altamente inquinante perché emette nell'aria ingenti quantità di anidride carbonica. Quindi, questo tipo di idrogeno non è perfettamente rispettoso dell'ambiente perché, nonostante l'idrogeno stesso non inquina per le sue proprietà fisico-chimiche già elencate pure in precedenza, ha un processo di produzione che è caratterizzato da un'elevata impronta di carbonio.
- **Idrogeno blu:** anche questo è prodotto dal gas naturale, ma prevede pure una fase che viene chiamata cattura e stoccaggio del carbonio (CCS), la quale non è presente, invece,

nell'idrogeno grigio. La differenza è che l'anidride carbonica che viene emessa durante la fase di produzione dell'idrogeno, viene prima catturata e poi immagazzinata nel sottosuolo, piuttosto che farla disperdere nell'atmosfera. In questo modo non è che non si inquina totalmente, però si riesce a ridurre buona parte delle emissioni di carbonio, tanto da rendere l'idrogeno blu un'opzione alternativa meno inquinante. Questo tipo di idrogeno ha un costo di produzione leggermente più alto che si riflette anche nel prezzo finale di acquisto.

- **Idrogeno verde:** è l'unica tipologia che viene prodotta dalle fonti di energia rinnovabili, come quella eolica o solare, secondo il processo dell'elettrolisi. Questo processo prevede la scissione delle molecole d'acqua (H_2O) in idrogeno (H_2) e ossigeno (O_2) tramite l'elettricità. Poiché nel processo dell'elettrolisi viene impiegata l'energia rinnovabile, la produzione di idrogeno verde non comporta alcuna emissione di carbonio. A quel punto se le auto sono alimentate da questo tipo di idrogeno, il processo è al 100% sostenibile dalla fase di produzione a quella di "consumo". Pertanto, l'idrogeno verde sarà sicuramente una componente chiave nella transizione verso un'economia dell'idrogeno sostenibile. L'unico problema dell'idrogeno verde è che al momento è quello che ha il costo di produzione più alto e che quindi si riflette nel prezzo finale di acquisto che è nettamente più alto.

Se da un lato uno dei vantaggi dell'idrogeno è l'impatto positivo che ha sull'ambiente, dall'altro comporta elevati costi di produzione, considerando il fatto che, essendo un combustibile ottenuto artificialmente, ha un costo che è circa tre volte rispetto al processo di raffinazione del petrolio. Per questo motivo si stanno sperimentando nuovi metodi di produzione più efficienti e sostenibili. Case automobilistiche, come Honda, Toyota e Hyundai, o come di recente ha fatto BMW con il modello iX5, hanno già prodotto veicoli a celle a combustibile (FCV) che impiegano l'idrogeno come fonte primaria di alimentazione. Tra i veicoli venduti in tutto il mondo nel 2018, solo 6.500 erano fuel cell vehicles. La California è il principale paese in cui sono vendute gli FCV, in quanto vennero consegnati circa 3.000 veicoli FCVs su un totale di 5.233 a livello globale. Questo può essere spiegato dal fatto che in California ci sono le migliori stazioni di rifornimento ad idrogeno che incentivano ulteriormente i consumatori all'acquisto. Al momento però, è difficile che i veicoli a idrogeno raggiungano una penetrazione di mercato rivelante e superiore al 5% entro il 2030. Per avere un successo significativo nel breve termine, sono necessari nuovi progressi tecnologici e maggiori incentivi governativi.

Gli incentivi per l'acquisto di vetture alimentate ad idrogeno sono fondamentali perché, dal momento in cui ci sono più veicoli green di questo tipo in circolazione, sono numerosi i benefici che si possono ottenere. Gli aspetti positivi dell'idrogeno possono essere così riassunti (Karim, 2003):

- **Rispetto dell'ambiente:** l'idrogeno è un carburante "pulito" rispetto ai motori a combustione interna (I.C.), perché le perdite di idrogeno nell'atmosfera non inquinano.
- **Risorsa abbondante:** l'idrogeno può essere creato in diversi modi, soprattutto a partire dalle molecole dell'acqua. Quest'ultima è una risorsa che è presente in tutto il mondo ed è molto abbondante
- **Miglioramento delle prestazioni del carburante:** l'idrogeno ha eccellenti proprietà che consentono di avere un aumento della potenza erogata.
- **Combustione rapida:** l'idrogeno, grazie alle sue proprietà, è in grado di avere una velocità di combustione che è circa dieci volte superiore a quella delle miscele di benzina.
- **Efficienza energetica:** i veicoli a idrogeno sono più efficienti, in quanto hanno una migliore conversione energetica che, di solito, è superiore a quella dei motori a combustione interna. In questo modo, l'energia immagazzinata nell'idrogeno è convertita in energia con una riduzione degli sprechi energetici e maggiori prestazioni.
- **Autonomia di guida:** sono in grado di fare viaggi di lunga distanza senza fare rifornimento e senza dover programmare il viaggio come invece accade per i veicoli elettrici.
- **Rifornimento rapido:** rifornire un veicolo a idrogeno è simile ai rifornimenti delle auto diesel o benzina; infatti, sono necessari solo pochi minuti.
- **Versatilità e flessibilità:** l'idrogeno può essere prodotto in vari modi, tra cui le fonti rinnovabili. Inoltre, si parla di flessibilità perché come carburante si adatta a motori già esistenti senza doverne cambiare radicalmente le funzioni e i meccanismi
- **Silenzioso:** così come i veicoli elettrici, anche quelli a idrogeno sono silenziosi, quindi c'è meno inquinamento acustico.

I benefici appena elencati, spingono ovviamente a produrre nuovi veicoli ad idrogeno; tuttavia, allo stesso modo dei veicoli elettrici, i veicoli ad idrogeno devono superare ancora delle barriere e sfide future, in particolare:

- **Le infrastrutture:** al momento non ci sono delle vere e proprie infrastrutture pronte per il trasporto dell'idrogeno e costruirle tutte nuove da zero richiederebbe troppo tempo e costi elevati. Pertanto, si è pensato più volte che il trasporto dell'idrogeno possa avvenire sotto forma di gas attraverso i gasdotti, a partire dal punto in cui viene prodotto fino agli utenti finali. L'idea attuale è quella di utilizzare l'infrastruttura del gas naturale per le prime fasi verso la transizione all'idrogeno. Tuttavia, bisogna considerare che l'idrogeno puro ha reazioni con alcuni acciai delle condutture, rischiando di indebolire le condotte. Per questo

motivo, chimici e ricercatori stanno studiando delle soluzioni alternative, per esempio gli inibitori, in grado di placare queste problematiche e consentire una transizione sicura dell'idrogeno. Se non si trova un inibitore, salvo nuove scoperte, si dovranno necessariamente costruire condotte dedicate all'idrogeno, con conseguenti maggiori costi di investimento rispetto all'utilizzo delle condotte esistenti, allungando i tempi della diffusione delle stazioni ad idrogeno e di conseguenza rallentando la produzione e la vendita dei veicoli a idrogeno.

- **I costi:** quando si parla di costi nei veicoli a idrogeno, si fa riferimento a più categorie di costi. Per esempio, i costi del veicolo che di solito presentano un costo iniziale più elevato rispetto ai veicoli a combustione tradizionali. Questo è spiegato dal fatto che i veicoli montano una tecnologia più complessa e costosa che è quella delle celle a combustibile a idrogeno. Solo con le economie di scala, raggiunte con la produzione di massa, il costo di tali veicoli può diminuire. Un altro costo importante è quello del carburante che a parità di chilometri percorsi, è più alto di quello della benzina o diesel. Questo è determinato sia dalla carenza di infrastrutture per il trasporto, che dai costi di produzione dell'idrogeno stesso. Poi, come già accennato nel punto precedente, il costo dell'infrastruttura, incluse anche le stazioni di rifornimento, è un costo che incide sul costo finale dell'auto. La costruzione e la manutenzione delle stazioni di rifornimento richiedono elevati investimenti soprattutto nelle prime fasi. Infine, un altro costo riguardante le macchine a idrogeno sono quelli di manutenzione e assistenza, poiché i pezzi di ricambio riguardano particolari tecnologie.
- **L'autonomia:** nonostante l'autonomia di tali veicoli sia superiore rispetto ai veicoli elettrici, non sono ancora all'altezza dei normali veicoli a benzina o diesel che, ancora una volta, quando ci sono lunghe distanze da percorrere sono sempre i più efficienti sotto ogni punto di vista (non solo in termini di autonomia, ma anche di costi del carburante e prestazioni)
- **Sicurezza:** l'idrogeno è un carburante altamente infiammabile e che richiede un trattamento adeguato a evitare perdite e incidenti. La ricerca, le normative e gli standard di sicurezza sono fondamentali per garantire la sicurezza delle tecnologie dell'idrogeno e per convincere i consumatori ad accettare questo cambiamento.

È importante notare che con lo sviluppo dei veicoli a idrogeno e i progressi della tecnologia, questa categoria di auto potrebbe diventare competitiva grazie alle le economie di scala che una volta raggiunte rendono accessibile il prezzo del veicolo a più soggetti e grazie agli incentivi governativi che stanno spingendo per il cambiamento delle auto tradizionali. Ci sono alcune differenze con i veicoli elettrici e a benzina/diesel, come il fatto che i veicoli a celle a combustibile a idrogeno hanno maggiore autonomia di guida rispetto alle auto elettriche, ma non rispetto alle auto tradizionali.

Purtroppo, essendo agli inizi dell'implementazione di questa categoria di veicoli, i costi delle auto elettriche e ad idrogeno sono ancora troppo alti, ma se i prezzi delle batterie e delle celle a combustibile scendono come previsto nei prossimi 10-20 anni, saranno in grado di competere con il mercato. A quel punto i consumatori sono più incentivati ad acquistare queste due tipologie di veicoli perché essendo più efficienti hanno migliori prestazioni e inquinano meno. Però bisogna considerare che le infrastrutture sono ancora poco sviluppate, mentre nelle auto a diesel o benzina non si devono fare più investimenti. Non solo, le stazioni di rifornimento attuali sono le più rapide per rifornire le auto a benzina o diesel, mentre per gli altri veicoli i tempi sono molto più lunghi. Però è anche vero che, se i veicoli tradizionali hanno un costo iniziale inferiore, sono più inquinanti e con le normative attuali e future non si potrà girare in determinate zone o città perché verranno escluse alcune categorie di auto.

Figura 10

Technology	Advantages	Disadvantages
Diesel	Lowest vehicle cost.	High greenhouse gas emissions
	No infrastructure investment required.	
	Long range and high payload.	Source of local air pollution (high tailpipe emissions).
	Faster refueling time than BEVs.	High refueling and maintenance cost.
	Large market with widely available parts and vehicles.	Low energy efficiency.
Battery	Reduces greenhouse gas emissions.	Infrastructure investment required.
	Reduces local air pollution (no tailpipe emissions).	Higher vehicle cost than diesel.
	Lower refueling and maintenance costs than ICE vehicles.	Long recharging time.
	Higher energy efficiency than ICE.	Limited range.
	Less infrastructure investment required than FCEV.	Limited cargo weight and size due to large battery.
Fuel cell	Reduces greenhouse gas emissions.	High initial hydrogen fuel cost.
	Reduces local air pollution (no tailpipe emissions).	Heavy infrastructure development required.
	Higher energy efficiency than ICE.	Highest vehicle cost compared to diesel or battery.
	Faster refueling time than BEVs.	Slow FCEV development.
	High specific energy.	

2.6 I biocarburanti

Come già accennato in precedenza, la gran parte delle fonti energetiche che vengono utilizzate tutt'ora nell'economia globale sono i combustibili, i quali rappresentano circa il 97% dell'energia immessa, mentre il restante 3% è rappresentato da fonti energetiche alternative che sono ancora nelle loro prime fasi di sviluppo (Quadrelli e Peterson, 2007). Tra i vari combustibili esistenti, in particolare i combustibili fossili, come il petrolio minerale convenzionale e il gas naturale, hanno un peso più rilevante perché da soli sono in grado di soddisfare circa l'80% della domanda energetica mondiale (Salameh, 2003; Szklo et al., 2006; Lysen e van Egmond, 2008; Shafiee e Topal, 2008).

Nonostante svolgano un ruolo chiave, gli aumenti di prezzo che si sono verificati tra il 2004 e il 2008 hanno evidenziato che l'offerta non è più in grado di stare al passo con l'espansione della domanda di oli minerali e gas naturale convenzionali. Questo perché la produzione di combustibili fossili diminuirà nel tempo, rendendo necessario l'impiego di nuove risorse energetiche alternative (GAO, 2007; Heiman e Solomon, 2007; Bentley et al., 2008; Kaufmann e Shiers, 2008). Siamo quindi in una fase in cui la domanda di nuovi combustibili sta crescendo nel tempo e c'è bisogno di introdurre alternative al gas naturale e petrolio. Negli anni, infatti, è aumentato l'interesse anche verso i biocarburanti o biofuels, i quali furono introdotti per la prima volta da Henry Ford nel 1896 con il bioetanolo e successivamente innovati da Rudolf Diesel (quest'ultimo usò l'olio di arachidi). Tali carburanti rappresentano un tipo di energia rinnovabile che deriva dalla materia organica, come piante, alghe o materiali di origine vegetale e rifiuti animali (la biomassa). Sono considerati una buona alternativa ai combustibili fossili perché, grazie alla loro proprietà energetiche, possono essere impiegati in vari modi, per esempio possono essere nuovi carburanti per alimentare i veicoli o per generare elettricità. Poiché i biocarburanti derivano dalla biomassa, quest'ultima è un'importante fonte energetica in quanto costituisce la materia prima per la produzione degli stessi biocarburanti. Ad oggi, rappresentano circa il 10% dell'input energetico in tutto il mondo e secondo delle analisi che sono state condotte, la biomassa rappresenterà circa tra il 15% e il 50% del consumo mondiale di energia primaria entro il 2050.

I biofuels vengono prodotti mediante processi di conversione diversi tra loro che trasformano la biomassa in combustibili utilizzabili. Tra i vari processi rientrano la fermentazione, la transesterificazione, la pirolisi e la gassificazione. La scelta del metodo di conversione più appropriato deriva dal tipo di biocarburante che si vuole ottenere ed è per questo motivo che i biocarburanti si possono configurare in varie forme: solidi, liquidi e gassosi. I biocarburanti più utilizzati sono il bioetanolo e il biodiesel dove per la produzione del primo le materie prime da biomassa come il mais o la canna da zucchero vengono sottoposte a fermentazione e gli zuccheri vengono convertiti in etanolo in una seconda fase. Nel caso del biodiesel, gli oli vegetali o i grassi animali vengono transesterificati per produrre un carburante liquido che può essere utilizzato come sostituto del diesel. Nonostante vari paesi abbiano promosso delle normative che sostengono e approvano l'uso di carburanti alternativi, bisogna considerare che i biocarburanti hanno causato un innalzamento dei prezzi alimentari, poiché sono in concorrenza con la produzione di alimenti e mangimi per i terreni coltivabili (Johansson e Azar, 2007; Naylor et al., 2007).

Eppure, l'implementazione di tali carburanti ha numerosi benefici, come: la riduzione della dipendenza dai combustibili fossili e un basso tasso di inquinamento durante il processo di combustione perché rilasciano meno sostanze inquinanti nell'atmosfera rispetto ai carburanti

tradizionali (non si osservano emissioni di Co₂ nell'aria, contribuendo a ridurre l'impronta di carbonio). Questo avviene perché, sebbene gli organismi producano la biomassa, questi allo stesso tempo assorbono una parte significativa della Co₂ che viene invece rilasciata durante la fase della combustione.

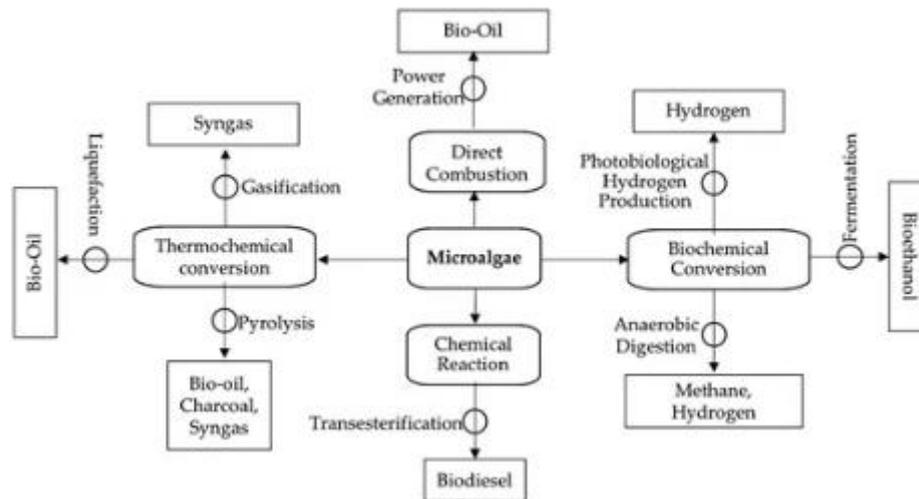
Ad oggi esistono varie tipologie di biocarburanti che vengono suddivisi per generazioni perché presentano caratteristiche differenti tra loro e si dividono in prima-seconda-terza-quarta generazione:

- **Prima generazione:** vengono prodotti da colture che hanno finalità sia alimentari che di fonte energetica per i combustibili. Un esempio tipico è il bioetanolo, il quale viene prodotto principalmente da mais o da canna da zucchero, oppure il biodiesel che viene prodotto a partire da oli vegetali o grassi animali, o ancora il biogas. Questa tipologia di biocarburanti è già utilizzata da più di 10 anni e seguono tutti quanti una procedura per la produzione che è più semplice rispetto a quelli di seconda generazione. Tuttavia, la loro produzione ha generato polemiche e preoccupazioni perché i biocarburanti potrebbero avere un peso notevole sui prezzi dei prodotti alimentari, i quali rischiano di aumentare nel tempo, oltre al fatto che il loro contributo energetico, economico e ambientale potrebbe non rispecchiare le aspettative iniziali. Se i prezzi dei prodotti alimentari dovessero ulteriormente aumentare, le persone che potenzialmente possono soffrire la fame e che vivono nei paesi sviluppati arriveranno a circa 1,2 miliardi nel 2025. Un altro aspetto negativo da considerare è che l'utilizzo del suolo viene riorganizzato e impiegato in modo differente, potendo incrementare la deforestazione o l'estinzione degli ecosistemi. Un altro problema che riguarda le risorse alimentari è la competizione per chi se le deve "aggiudicare", soprattutto perché nel corso del tempo saranno sempre meno disponibili (altro fattore che può causare l'innalzamento dei prezzi). Nonostante gli studi dicano che con l'implementazione dei biocarburanti ci sarà una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, l'uso agricolo e l'applicazione di fertilizzanti associati ai biocarburanti di prima generazione, invece, potrebbero far raddoppiare le emissioni nei prossimi tre decenni. Poiché la coltivazione del mais per il bioetanolo richiede dai 5 a 2138 litri (L) per produrne 1 litro, questo può generare problemi ambientali, come la siccità, nei paesi in cui c'è carenza di acqua a causa dell'eccessiva estrazione della stessa. Poi, alla diffusione dei biocarburanti di prima generazione è stata associato un impatto ecologico negativo, come la perdita di biodiversità nella coltivazione della canna da zucchero in Brasile rispetto alla produzione di barbabietole da zucchero in Francia e di mais negli Stati Uniti. Inoltre, l'espansione dei biocarburanti di prima generazione ha comportato tensioni sociali soprattutto nei Paesi in via di sviluppo perché la diffusione dei biocarburanti è avvenuta senza adeguati meccanismi di controllo, oltre al fatto che sono necessari robusti investimenti da un

punto di vista economico. Quest'ultimo aspetto riguarda soprattutto il processo di conversione della biomassa che è ancora poco efficiente nella trasformazione delle materie prime e che prevede degli sforzi economici abbastanza elevati.

- **Seconda generazione:** chiamati anche biocarburanti avanzati, derivano da colture non alimentari, residui agricoli o persino alghe. Questi vengono prodotti come soluzione alternativa ai biocarburanti di prima generazione, dato che questi ultimi presentano numerose problematiche. Attualmente, sono sperimentate diverse strategie di produzione per questi biocarburanti e viene posta particolare attenzione a quella termochimica e biochimica. Per esempio, la prima soluzione prevede la trasformazione della biomassa in un biocarburante che nasce allo stato solido chiamato "biochar". In generale, i biocarburanti di seconda generazione a differenza degli altri hanno il vantaggio di impiegare le materie prime non alimentari, non creando potenziali conflitti tra i produttori di cibo e di carburante stesso. In molti casi risultano più efficienti dal punto di vista energetico e hanno un impatto ambientale positivo in quanto inquinano meno. Però anche questa tipologia di carburanti deve affrontare varie sfide, tra cui le strutture/gli edifici per la loro produzione, le modalità di conservazione, le tecniche di lavorazione e soprattutto il modo per trasportarli dagli stabilimenti alle strutture di rifornimento. Al momento siamo ancora in una fase di sviluppo e implementazione di questo tipo di carburanti e i problemi appena elencati rappresentano dei veri e propri ostacoli per la diffusione di carburanti più sostenibili come i biofuels.
- **Terza generazione:** poiché i carburanti di prima e seconda generazione richiedono un elevato sforzo a livello energetico durante i processi di produzione, sono necessari dei biofuels più ecologici ed efficienti come quelli di terza generazione, i quali garantiscono maggiori probabilità di eliminazione dei combustibili fossili. In particolare, i biocarburanti di terza generazione comprendono i biocarburanti sintetici e gli elettrocarburanti a base biologica. A differenza dei biofuels visti in precedenza, i quali presentavano dei limiti nella catena alimentare per i carburanti di prima generazione, o maggiori costi di lavorazione delle materie prime per quelli di seconda generazione, quelli di terza generazione utilizzano come materie prime le alghe che garantiscono minori emissioni di CO₂ rispetto ai combustibili fossili. La coltivazione di 1 kg di microalghe può catturare fino a 1,8 kg di CO₂, fondamentale sia per la produzione di biomassa che per la riduzione dell'inquinamento dell'aria. Per convertire la biomassa microalghe in fonti energetiche si possono impiegare diversi metodi, per esempio attraverso la conversione termochimica o quella biochimica come mostrato nella figura.

Figura 11



Anche le macroalghe, cioè le alghe marine, sono state studiate per aumentare la cattura di CO_2 e la produzione di biocarburanti, mostrando dei vantaggi e un buon rapporto di efficienza energetica. In generale i biocarburanti algali hanno il potenziale per ridurre significativamente le emissioni di CO_2 soprattutto nell'industria aeronautica, oltre a quella automobilistica, nonostante la lavorazione delle alghe comporti sfide tecniche e logistiche. Rispetto agli altri biofuels, quelli di terza generazione sono quelli che mirano maggiormente a diminuire l'inquinamento grazie all'impiego delle fonti di biomassa, senza creare "nuove problematiche" alle materie prime come la produzione e la coltivazione di cibo. Pertanto, la produzione di biofuels di terza generazione ha degli impatti positivi dal punto di vista socioeconomico e ambientale. Sociale perché per la coltivazione di alghe servono nuove persone da coinvolgere nel processo produttivo e di conseguenza si creano in maniera diretta nuovi posti di lavoro (questi ultimi possono essere anche indiretti poiché lungo la catena di approvvigionamento ci sono altre mansioni da svolgere oltre al fatto che serviranno nuovi esperti che sappiano utilizzare le tecnologie per la realizzazione del prodotto finale); economico perché le alghe, essendo la materia prima del carburante che si va a realizzare, viene venduto sul mercato e genera profitti/reddito locale e le persone coinvolte nell'attività hanno un guadagno dall'attività che svolgono. Questi due aspetti sono fondamentali soprattutto se si osserva che al momento la pianificazione della redditività nel lungo periodo dei biocarburanti tende a concentrarsi sui biofuels di terza generazione. Dal punto di vista ambientale, invece, le alghe hanno delle proprietà energetiche importanti perché sono in grado sia di convertire l'energia solare derivante dalla luce in pura energia, sia di trasformare la CO_2 in biomassa, rendendo la materia prima efficiente al massimo. Infatti, le alghe sono uno dei modi migliori per catturare il carbonio se si considera che la metà di CO_2 globale è proprio catturata dalle stesse, oltre ad avere una percentuale di fissazione dell'anidride carbonica che

è tra le 10 e le 50 volte superiore alle normali piante della flora vegetale. Inoltre, contribuiscono a salvaguardare i fondali marini da sostanze tossiche che inquinano l'acqua, il tutto in modo sicuro ed economico.

- **Quarta generazione:** lo sviluppo di biocarburanti avanzati fa affidamento anche alla quarta generazione, che mostra grandi potenziali. Questi biocarburanti derivano da microalghe, microbi, lieviti e cianobatteri geneticamente modificati. Rispetto ai biocarburanti di terza generazione che si concentrano in particolar modo sulla produzione di biomassa algale per il biodiesel, la quarta generazione si distingue per l'incorporazione di microrganismi fotosintetici modificati. Grazie all'ingegneria genetica e metabolica, è possibile trattare la materia prima attraverso vari processi in modo da ottenere carburanti verdi come il metano o l'idrogeno (secondo il processo di digestione anaerobica), il bioetanolo (con il processo di fermentazione), il biodiesel (con il processo di transesterificazione) e, infine, il gas sintetico (con il processo di gassificazione).

Tra i vari biocarburanti, esistono varie tipologie ognuno dei quali varia per il processo di produzione e per le caratteristiche, per esempio:

- **Etanolo:** già citato in precedenza, è uno dei carburanti maggiormente utilizzato perché viene prodotto attraverso la fermentazione degli zuccheri o degli amidi presenti in colture come il mais, la canna da zucchero e il grano. Si può creare una miscela insieme alla benzina ed è un carburante compatibile con i veicoli a benzina stessa, presenta dei vantaggi in termini di sicurezza ambientale rispetto alla benzina perché non è tossico ed è meno infiammabile, anche se vi possono essere delle modifiche ai sistemi di alimentazione del motore, le quali richiedono materiali non corrosivi per evitare problemi di corrosione. Durante il periodo del covid, nel 2020, però, la produzione globale di etanolo è diminuita del 15%.
- **Biodiesel:** viene prodotto da oli vegetali, grassi animali olio da cucina riciclato con un processo chiamato "transesterificazione". Il biodiesel può essere utilizzato per i motori diesel o quando viene miscelato con il diesel derivato dal petrolio con miscela al 20% o direttamente carburante puro. Il livello ottimale per la miscela è stabilito considerando due parametri che sono i costi del carburante e i relativi benefici. Nel caso in cui venga prodotto da oli vegetali è più costoso rispetto a quello prodotto da oli da cucina a scarto. La produzione e il processo di combustione del biodiesel genera una riduzione di circa l'80% delle emissioni di anidride carbonica rispetto al gasolio, mentre fattori come il consumo di carburante e le prestazioni rimangono più o meno inalterate. Il problema è che il biodiesel è molto più costoso del gasolio normale e serviranno degli incentivi governativi per promuoverlo e renderlo accessibile a più

persone. Inoltre, l'autonomia dei veicoli alimentati da questo tipo di carburante è chiaramente inferiore rispetto ai carburanti tradizionali o al normale motore a diesel. Durante la pandemia però, la produzione di biodiesel ha registrato un -5%.

- **Biogas:** è un biocarburante gassoso che viene prodotto attraverso un processo di digestione anaerobica di materiali organici di scarto come residui agricoli, letame, liquami e rifiuti alimentari. Il processo di digestione produce una miscela di metano e anidride carbonica che può essere utilizzata come combustibile per la produzione di energia elettrica, per riscaldamento o come carburante per i veicoli dopo la purificazione.
- **Bioetanolo da materie prime cellulosiche:** rispetto all'etanolo tradizionale che viene prodotto dagli zuccheri o dagli amidi delle colture, l'etanolo cellulosico deriva dai componenti di cellulosa e lignina della biomassa vegetale, come i residui agricoli, le colture energetiche dedicate o rifiuti forestali. Il suo vantaggio è che non necessita di materie prime alimentari e potenzialmente ha un tasso di inquinamento inferiore.

Questi sono alcuni esempi dei tipi di carburanti che vengono utilizzati o che sono ancora in via di sviluppo, ma che con il tempo stanno assumendo un peso sempre più rilevante in ottica futura. Solo nel 2019 c'è stato un incremento nella produzione di biofuels pari a +5%, soprattutto grazie al biodiesel, anche se durante il periodo del Covid-19 si sono registrati dei cali nella produzione dell'11%. Uno dei paesi che è in grado di produrre questi carburanti in grandi quantità è stato l'Indonesia che ha superato paesi come USA e India. Nel 2019, è stato stimato che tale mercato fosse in grado di dare lavoro a circa 2,5 milioni di individui, con un tasso di crescita del 3% nella produzione di biofuels per i cinque anni successivi. Questo si traduce in un incremento del numero di soggetti da coinvolgere e la creazione di nuovi posti di lavoro che aiutano a migliorare il reddito del paese. Tuttavia, i biocarburanti richiederanno una grossa quantità di terra, acqua ed energia che possono avere conseguenze ambientali negative e per questo motivo si è ancora lontani dagli obiettivi prefissati entro il 2030 che rischiano di sfumare. A quel punto se si vogliono rispettare gli SDGs (Sustainable Development Goals), poiché sono stati fissati degli obiettivi, la produzione di biocarburanti dovrebbe essere più estesa e più rapida. Nonostante però durante la pandemia ci siano state delle diminuzioni nella produzione dei biofuels, l'AIE (Agenzia Internazionale dell'Energia) ha stimato che nel 2021 la produzione mondiale di biocarburanti era di circa 162 miliardi di litri e che nel 2025 saranno in grado di soddisfare il 5,4% del carburante globale per il trasporto di auto su strada. In sostanza, i biofuels hanno il potenziale per essere una soluzione energetica rinnovabile e sostenibile con potenziali benefici ambientali, sociali ed economici.

2.7 E-fuels

Gli e-fuels/e-carburanti, più noti anche come elettrocarburanti, powerfuels o carburanti sintetici basati sull'elettricità, sono una tipologia di carburanti che vengono sintetizzati dalla combinazione di idrogeno e Co₂ mediante la cattura e l'utilizzo del carbonio. Il processo di produzione è caratterizzato dalla fase di generazione di idrogeno dall'acqua attraverso l'elettrolisi e la cattura di Co₂ da fonti fossili (per esempio quella degli impianti industriali) o dall'atmosfera attraverso la biomassa o la tecnologia di cattura diretta dell'aria. Tale tipologia di carburanti utilizzano le fonti di energia rinnovabile a basso costo, come quella eolica e solare fotovoltaica. Da qui derivano gli e-fuels che possono presentarsi allo stato gassoso e liquido, da cui derivano caratteristiche chimo-fisiche che li rendono come ottimi sostituti dei combustibili fossili tradizionali, in particolar modo per l'alta densità energetica, la conservabilità, la trasportabilità e la combustibilità.

Uno dei vantaggi più importanti da sottolineare dei carburanti elettronici è la loro versatilità, poiché possono essere impiegati in tutti quei settori in cui è richiesta energia. Questo aspetto diventa sempre più rilevante dal momento che le altre opzioni di mitigazione come i biocarburanti, la cattura e lo stoccaggio dell'anidride carbonica e la rimozione della Co₂ presentano dei limiti dovute alle questioni relative agli argomenti di sostenibilità e di accettazione del pubblico, nello specifico nei settori a domanda energetica non elettrica.

Tra i vari e-carburanti, uno dei più rilevanti è quello dell'idrogeno che, insieme agli altri e-fuels, ha il potenziale per far fronte alla lotta contro il cambiamento climatico e l'inquinamento. Quindi, si può arrivare a migliorare alcuni settori specifici che sono difficili da decarbonizzare come l'aviazione, il trasporto marittimo a lunga distanza, le materie prime dell'industria chimica, i processi industriali ad alta temperatura, e soprattutto il settore automobilistico quando si devono percorrere lunghe distanze. Questi carburanti possono segnare la transizione dalle tecnologie del passato a quelle future, consentendo alle tecnologie di combustione e alle infrastrutture per i combustibili fossili di diventare parte della soluzione climatica.

Tuttavia, esistono prospettive diverse sul ruolo degli e-fuels e sulle loro applicazioni target. Questi punti di vista influenzano i futuri volumi di mercato dell'idrogeno e dei carburanti elettronici. Alcuni studi sostengono un utilizzo basso o praticamente nullo degli e-fuels, suggerendo un'elettrificazione diretta e completa di tutti i settori o di settori specifici. Chiaramente, gli esperti e sostenitori degli e-carburanti cercano di ottenere un'applicazione più ampia, che sostituisca il gas naturale e il petrolio in vari settori come il riscaldamento, la cucina e i trasporti. Questo approccio consentirebbe di utilizzare le infrastrutture esistenti per i combustibili fossili, riducendo al contempo le emissioni di gas a effetto serra (GHG).

Attualmente si stanno valutando diverse opzioni alternative per soddisfare l'adozione di combustibili sostenibili. Tra queste vi sono:

- **E-Metano:** è un possibile sostituto del carburante per il settore automobilistico, già implementato. Si parla di metano rinnovabile, poiché deriva da fonti come il biogas o l'idrogeno elettrolitico e la Co₂, e che presenta un enorme vantaggio relativo all'infrastruttura perché, considerando che possiede delle proprietà simili al gas, possono essere sfruttate le infrastrutture del gas naturale, in quanto più avanzate. Tuttavia, nel processo di trasformazione chimico ci sono perdite di energia e soprattutto la questione delle "perdite di metano" che andrebbe ad inquinare l'ambiente.
- **E-Metanolo:** è prodotto dalla combinazione tra idrogeno e anidride carbonica. Per il momento viene miscelato insieme ai carburanti convenzionali, ma con una concentrazione massima del 3%. Con concentrazioni più elevate si dovrebbe ricorrere necessariamente a delle modifiche alle norme sui carburanti, agli adattamenti/alle rivisitazioni dei motori e all'ampliamento delle infrastrutture per i carburanti. Il metanolo può essere prodotto utilizzando energia rinnovabile, riducendo notevolmente l'impronta di carbonio nell'aria.
- **E-Benzina:** viene prodotta dalla combinazione di anidride carbonica/monossido di carbonio e idrogeno. Presenta delle caratteristiche chimico-fisiche che sono simili a quelle della benzina tradizionale e può essere implementata negli attuali motori a benzina senza modifiche significative. Anche in questo caso viene utilizzata l'energia rinnovabile che rende il carburante per veicoli più green ed è meno inquinante.

Anche la produzione degli e-fuels vede davanti a sé delle sfide e barriere, come:

- **Costi:** gli e-fuels sono più costosi da produrre rispetto ai carburanti fossili convenzionali a causa dei processi di produzione che richiedono alta intensità. Pertanto, non sono ancora economicamente competitivi soprattutto in assenza di incentivi, considerano il fatto che le economie di scala sono ancora molto distanti. Anche il costo delle vetture alimentate dagli e-carburanti sono maggiori rispetto ai veicoli tradizionali.
- **Efficienza energetica:** la fase di conversione dell'energia prevede elevate perdite della stessa lungo la catena di produzione. Quindi, nel complesso l'efficienza energetica degli e-fuels è inferiore.
- **Infrastrutture:** c'è bisogno di infrastrutture specializzate per la produzione, la distribuzione e lo stoccaggio, perché quelle attuali dei carburanti tradizionali non si possono adattare per tutti gli e-fuels. Saranno necessari ingenti investimenti per creare una rete infrastrutturale specifica. Politiche e incentivi e da parte dei governi sono necessari per stimolare gli

investimenti, guidare l'innovazione e creare una domanda di mercato per i carburanti elettronici.

- **Sviluppo tecnologico:** le tecnologie per gli e-fuels sono ancora in evoluzione e potrebbero non essere del tutto mature. Servono ancora investimenti in ricerca e sviluppo per migliorare l'efficienza, la scalabilità e l'efficacia dei costi dei processi di produzione dei carburanti elettronici.
- **Accettazione e percezione da parte del pubblico:** in questo momento possono incontrare problemi di accettazione da parte dell'opinione pubblica per le problematiche appena elencate e perché sono più inquinanti dei veicoli elettrici.

Gli e-fuels sono carburanti emergenti che possono fare da ponte nella fase transitoria per la riduzione delle emissioni di carbonio e contribuire a rendere il settore automobilistico più sostenibile, anche se ci sono numerose barriere da superare.

2.8 Differenze tra E-fuels e Biocarburanti

Gli e-fuels si differenziano dai biocarburanti per il processo di produzione e le fonti di alimentazione. Mentre i biocarburanti sono prodotti a partire da sostanze organiche, come colture, residui agricoli o alghe, gli e-fuels sono carburanti sintetici prodotti con l'elettricità, specialmente da fonti rinnovabili come l'energia solare o eolica, e anidride carbonica in un processo chiamato power-to-liquid (PtL) o power-to-gas (PtG).

Un'altra differenza è l'efficienza di conversione dell'energia. I biocarburanti richiedono la coltivazione di colture o la raccolta di biomassa, seguita da processi di conversione. Questo processo a più fasi può comportare perdite di energia e una minore efficienza complessiva. Al contrario, gli e-fuels hanno il potenziale per raggiungere efficienze di conversione energetica più elevate, soprattutto se prodotti utilizzando fonti di elettricità rinnovabili. Sia i biocarburanti che gli e-fuels hanno il potenziale di ridurre le emissioni di gas serra rispetto ai carburanti fossili convenzionali, in quanto possono essere prodotti da fonti rinnovabili e hanno un'impronta di carbonio inferiore. Tuttavia, la sostenibilità e l'impatto ambientale di entrambi i tipi di carburanti dipendono da vari fattori, tra cui i metodi di produzione specifici, l'approvvigionamento delle materie prime e i potenziali cambiamenti nell'uso del suolo. Vale la pena notare che gli e-fuels sono ancora nelle prime fasi di sviluppo e commercializzazione e la produzione su larga scala è attualmente limitata. L'elevato fabbisogno energetico, i costi e le sfide tecniche associate al processo di produzione sono alcune delle attuali barriere all'adozione diffusa.

CAPITOLO 3: ANALISI DEI DATI SUI BREVETTI NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

3.1 Metodologia

Nel presente capitolo vengono analizzati i dati relativi ai brevetti tecnologici nel settore automobilistico per i paesi OECD in un arco temporale di 25 anni a partire dal 1995 fino all'ultimo anno disponibile, il 2019. Nel seguito definiamo i brevetti e discutiamo brevemente il loro ruolo che svolgono per l'economia delle industrie e dei paesi.

L'organizzazione internazionale per la protezione della proprietà intellettuale (WIPO è l'acronimo inglese) definisce il brevetto come un diritto esclusivo garantito a favore dello sfruttamento di una invenzione. In altre parole il brevetto garantisce un diritto a chi inventa nuovi prodotti o processi produttivi, nuovi modi di fare le cose o offre soluzioni tecniche a dati problemi.

A tal fine, l'inventore è tutelato rispetto alla propria invenzione per un periodo di circa 20 anni, fornendo dei diritti esclusivi che possono essere esercitati qualora si presentino delle circostanze sfavorevoli, per esempio se qualcuno decide di vendere o produrre una determinata tecnologia senza il consenso di colui che l'ha realizzata. Per questo motivo i brevetti sono ottimi indicatori in grado di monitorare costantemente la diffusione di nuove conoscenze all'interno di settori, industrie, paesi e aziende che operano in ambienti che sono in continuo mutamento nel tempo. Inoltre, i brevetti presentano delle connessioni tra di loro perché, considerando che un'invenzione è brevettata dopo una serie di attività formali o informali di ricerca, sono visti sia come indicatori di input che di output. Indicatori di input in quanto l'invenzione precedente può risultare come punto di partenza per i successivi inventori per l'ottenimento di un nuovo output finale che, a sua volta, può svolgere nuovamente un ruolo di input per l'invenzione successiva, fino a far ripetere il ciclo all'infinito. In tal modo è possibile generare un trasferimento di conoscenze dal paese di origine ai paesi che richiedono quella tecnologia specifica e possono essere coinvolti soggetti esterni nella ricerca, come le società multinazionali, che finanziano i progetti. In generale, anche i brevetti presentano dei punti di forza e dei punti di debolezza: per esempio, sono correlati direttamente con le invenzioni; i documenti brevettuali forniscono numerose informazioni a richiedenti, inventori, in quanto sono ricchi di contenuti; i dati sui brevetti sono accessibili grazie agli uffici brevetti. Tuttavia, alcuni elementi limitano i brevetti, per esempio non tutti i brevetti trovano applicazioni pratiche nelle industrie; oppure può capitare che ci siano delle invenzioni che non vengano brevettate poiché non brevettabili; anche le differenze nelle normative tra paesi sui brevetti rappresentano un ostacolo perché non permettono di confrontare direttamente i brevetti tra nazioni differenti; infine, il cambiamento delle leggi sui brevetti possono bloccare la diffusione.

Le informazioni sui brevetti utilizzate in questa tesi provengono dal database dell'”**OECD Statistics**”, una piattaforma che fornisce informazioni statistiche su vari ambiti del modo economico. Una volta entrati nel sistema abbiamo selezionato prima la categoria “Science, Technology and Patents” e poi la sottocategoria “Patents in environment-related technologies”. Da quest’ultima sono stati presi i dati del “Climate change mitigation technologies related to transportation” riguardo brevetti che sono stati appositamente creati per monitorare i progressi delle tecnologie associate all'ambiente. L'obiettivo del data-set è di valutare le innovazioni di nazioni e aziende secondo le politiche governative in materia di ambiente e innovazione. Attraverso criteri di ricerca specializzati vengono individuate solamente le innovazioni che sono collegate alle problematiche ambientali come l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico, al fine di raggiungere gli obiettivi stabiliti dalle politiche ambientali.

Nello specifico, questo gruppo di dati fornisce tre categorie di indicatori incentrati sui brevetti:

- **Indicatori di avanzamento tecnologico**, i quali comprendono il conteggio delle innovazioni, dette anche famiglie di brevetti semplici, che sono formulate dagli inventori all'interno di una specifica nazione, a prescindere dalle regioni in cui vengono perseguite le tutele brevettuali. Tale indicatore è ulteriormente suddiviso in: *paese di origine dell'inventore* in cui, se un brevetto deriva da inventori di due paesi differenti, allora a ciascun Paese è assegnato un conteggio di 0,5; *data di priorità* che fa riferimento alla data effettiva dell'invenzione; *entità della famiglia*; *campo tecnologico*; *variabile*, che riguarda la quantità di brevetti per paese inventore o della percentuale di brevetti generati da inventori di sesso femminile o maschile.
- **Indicatore della collaborazione internazionale nello sviluppo tecnologico**, il quale fornisce il numero di invenzioni sviluppate simultaneamente da almeno due inventori.
- **Indicatore di diffusione della tecnologia**, il quale fornisce il numero di invenzioni che cercano di ottenere la tutela brevettuale attraverso percorsi nazionali, regionali o internazionali all'interno di una particolare giurisdizione.

Una volta selezionati i dati del “Climate change mitigation technologies related to transportation”, questi sono stati filtrati secondo quanto segue:

- **Family size**: è stata scelta la voce “One and greater (all inventions)” al fine di ottenere tutti i dati disponibili a livello mondiale, compresi i valori bassi di molte invenzioni.
- **Technology domain**: le tecnologie dominanti oggetto di studio sono le categorie “Energy Storage e Road Transport”. Per quanto riguarda l'Energy Storage fanno parte i brevetti tecnologici relativi alle componenti delle automobili che permettono di accumulare energia e trasformarla in potenza per il veicolo, per esempio le batterie delle auto, i condensatori,

accumulatori di energia meccanica/termica e volani. Invece, per quanto riguarda il Road Transport, fanno parte i brevetti tecnologici relativi a macchine con motori convenzionali come quelli a diesel e/o benzina, motori ad idrogeno e fuel cell, macchine elettriche e ibride e, infine, il miglioramento dell'efficienza del carburante nella progettazione dei veicoli.

- **Year:** tutti i brevetti tecnologici delle tecnologie dominanti sopra elencate per un arco temporale che va dal 1995 fino al 2019 (ultimo anno disponibile).
- **Country:** sono stati selezionati solamente i paesi appartenenti all'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) che è un'organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico, la quale si impegna a creare politiche migliori per il miglioramento della vita degli esseri umani, mettendo in primo piano il benessere di ogni cittadino. Tale ente, collabora con governi, i vertici politici e la popolazione al fine di stabilire degli standard che sono riconosciuti a livello internazionale.

In sintesi, i dati elaborati forniscono informazioni e misurazioni basate sui brevetti che rendono possibile il monitoraggio delle innovazioni nelle tecnologie ambientali, al fine di poter perseguire gli obiettivi previsti dalle politiche ambientali.

3.2 Analisi dei dati e commenti

In questo paragrafo esamineremo i dati relativi ai brevetti tecnologici nel settore automobilistico relativi ai paesi OECD per gli anni che vanno dal 1995 al 2019. Nella prima parte verranno approfonditi i brevetti appartenenti alla categoria Road Transport, a seguire in ordine avremo la categoria dei Conventional Vehicles, subito dopo verrà analizzata la categoria dei brevetti *green*, vale a dire, brevetti per Energy Storage, per veicoli ibridi/elettrici, per veicoli ad idrogeno/fuel cell e, infine, la categoria fuel efficiency. Inoltre, per ciascuna categoria è stato calcolato l'”**Revealed Technological Advantage**” (RTA, detto anche “Indice dei Vantaggi Tecnologici Rivelati”) che ci dice quanto un determinato paese è specializzato in una data tecnologia. Viene calcolato mettendo a rapporto la percentuale di brevetti di una nazione in una specifica tecnologia rispetto a tutte le categorie di brevetti. La formula è la seguente:

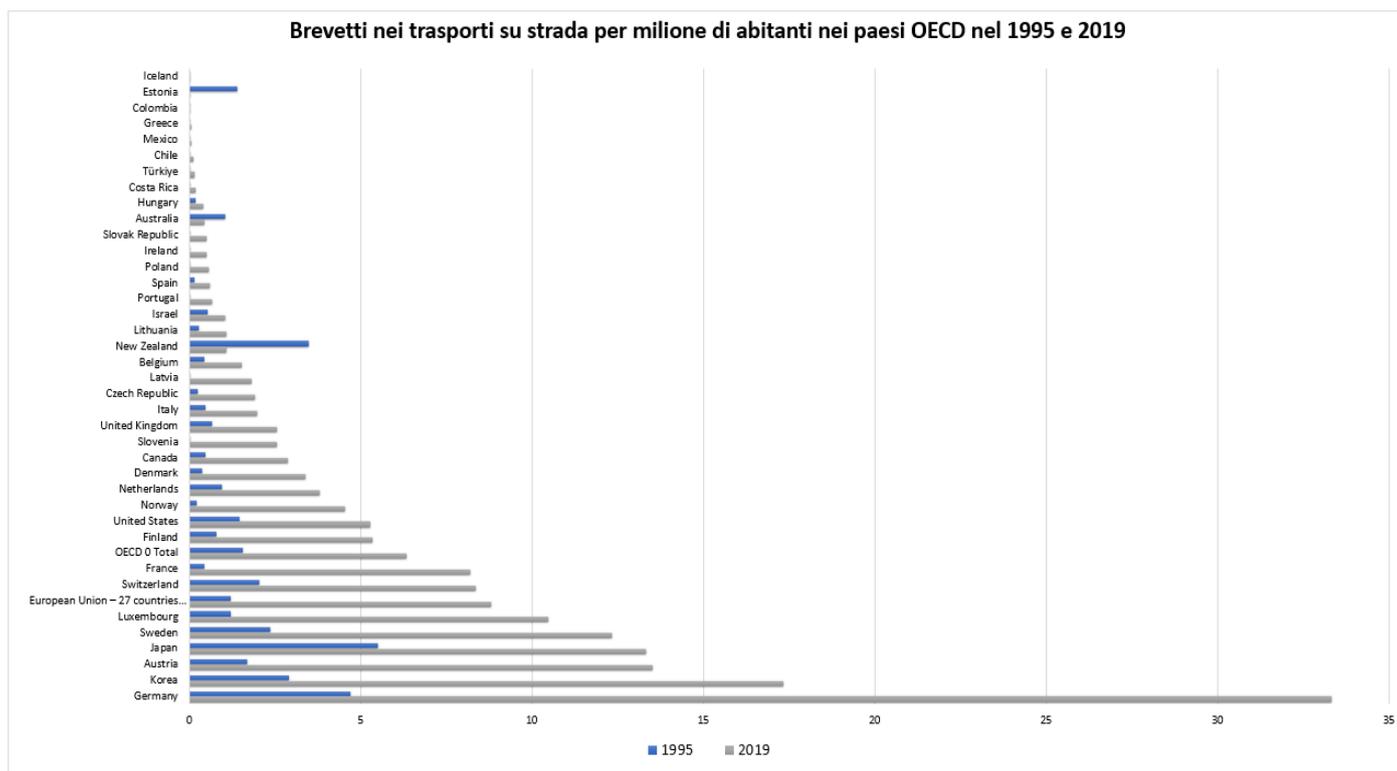
$$\left(\frac{\text{(Brevetti di una specifica categoria del Paese X / Brevetti totali del Paese X)}}{\text{(Brevetti totali della specifica categoria dei paesi OECD / Brevetti totali dei Paesi OECD)}} \right)$$

Il valore di riferimento dell'RTA è uguale ad 1 e, pertanto, quando l'indice è maggiore di 1 allora quel paese è in grado di generare un numero di brevetti superiore alla sua quota di brevetti totali, ciò significa che è specializzato in quella tecnologica, mentre se è minore di 1 vuol dire che il paese è sotto specializzato.

3.2.1 Brevetti per la categoria Road Transport

In questa prima analisi verranno approfonditi tutti i brevetti tecnologici del settore automobilistico che appartengono alla macrocategoria **Road Transport**. Nel primo grafico sotto riportato (Figura 12), sono stati presi in considerazione solo il primo e l'ultimo anno, rispettivamente il 1995 e il 2019 e questi dati sono stati normalizzati per la popolazione e moltiplicati per un milione di abitanti (stessa procedura applicata alle altre categorie di brevetti). La prima cosa da notare è che se ragioniamo in termini di grandi raggruppamenti o grandi paesi, l'Unione Europea a 27, con 8 brevetti per milione di abitanti nei veicoli di trasporto su strada, è l'entità geopolitica con maggiori invenzioni in questo ambito, collocandosi sopra agli USA (5 brevetti per milione) e sopra la media dei paesi OECD. Però, andando più a fondo possiamo osservare che i paesi europei che alzano la media del gruppo EU 27 sono soprattutto alcuni paesi che non appartengono all'area Euro come la Norvegia e la Svezia. Solamente sei paesi producono più brevetti del gruppo dell'Unione Europea e sono il Lussemburgo, Svezia, Giappone, Austria, Korea e Germania. Possiamo osservare che quest'ultima è il paese leader nella produzione dei brevetti di veicoli per trasporto su strada poiché nel 2019 ha realizzato poco più di 30 brevetti per milione di abitante. Questo dato è abbastanza ragionevole se consideriamo che i principali marchi delle case automobilistiche come BMW, Mercedes, Volkswagen, Audi e Porsche sono nati nel territorio tedesco, luogo in cui hanno stanziato i loro principali stabilimenti produttivi e centri di ricerca. Quello che però va sottolineato è che nel 1995 la Germania non era il paese leader, bensì il Giappone che al momento si trova in quarta posizione producendo circa 13 brevetti per milione di abitanti, perdendo il vantaggio iniziale, ma che ad oggi assume comunque un ruolo rilevante nel settore automobilistico. Per cui possiamo aspettarci che negli anni a venire il Giappone insieme alla Corea, paese che attualmente è secondo per la produzione di brevetti nei paesi OECD e che produce circa 18 brevetti per milione di abitante, diventeranno grandi protagonisti dato che, al momento, si trovano in mercati ancora in crescita. Per quanto riguarda l'altro gruppo di paesi, che è rappresentato dal totale dei paesi OECD, sono decimi nel ranking dei brevetti per trasporto su strada e dato che il gruppo EU 27 si trova in settima posizione, possiamo pensare che buona parte dei brevetti mondiali provengono dai paesi dell'Unione Europea. L'Italia, invece, rispetto alle grandi potenze europee è più indietro, già nel 1995 era circa quindicesima, mentre ora si trova solo al diciannovesimo posto, producendo circa 3 brevetti per milione di abitante.

Figura 12 Brevetti nei trasporti su strada



RTA

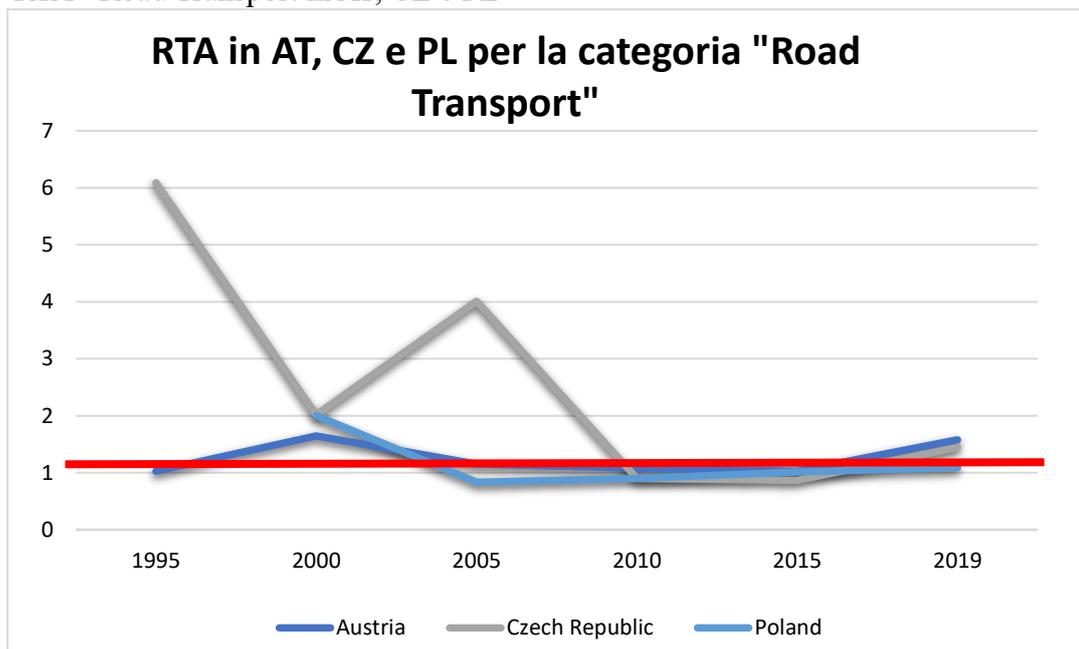
Dopo questo primo confronto, andiamo ad analizzare quali paesi sono maggiormente specializzati e quali invece lo sono meno. Per fare questa analisi abbiamo diviso i paesi in tre sottogruppi come segue:

- **Austria, Repubblica Ceca e Polonia:** in questi tre stati, i quali gravitano intorno al sistema produttivo tedesco, troviamo una certa convergenza tra le nazioni, poiché Repubblica Ceca e Polonia convergono verso all'Austria. In particolare, i paesi come Austria e Rep. Ceca sono più specializzati della Polonia, entrambi con un indice pari a circa 1,5, come mostrato nella figura 13.

Approfondendo questo aspetto con la letteratura è emerso che durante la metà degli anni 90', nel territorio ceco stavano nascendo aziende produttrici di automobili come Skoda. Nonostante ciò, erano ancora indietro rispetto ai loro competitor dei paesi occidentali, poiché c'era bassa innovazione e bassa efficienza produttiva, rendendo difficile la commercializzazione dei veicoli su scala internazionale. A quel punto la politica ha optato per una rapida privatizzazione delle principali case automobilistiche e, in seguito, accadde che Volkswagen acquisì il 61% delle azioni di Skoda fino a quando negli anni 2000 venne

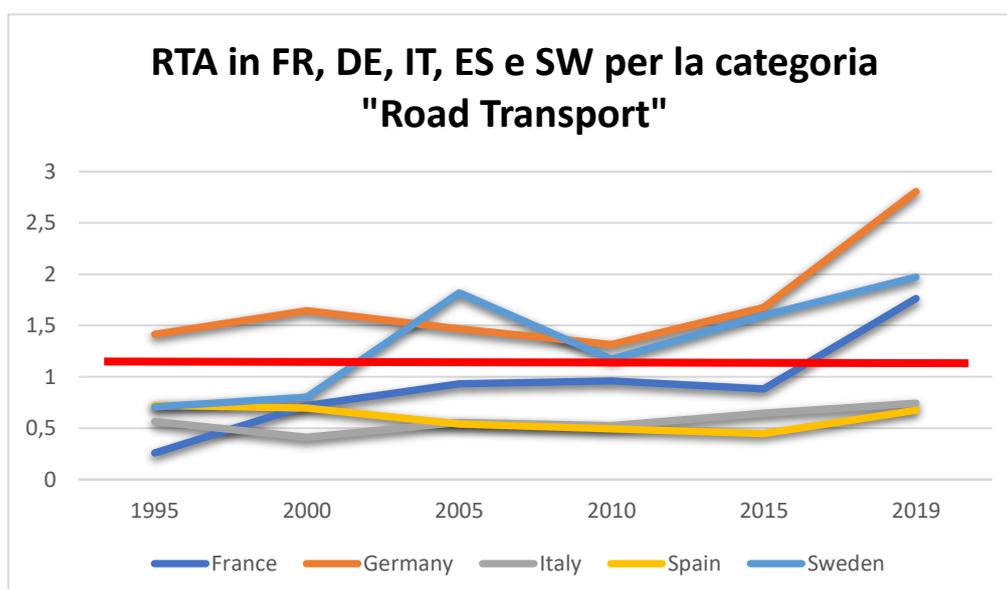
acquisita al 100%. Nonostante questi investimenti, dal 1991 al 1998 la Repubblica Ceca decise di puntare su una "politica delle porte aperte" per gli investitori stranieri, i quali erano poco attratti a causa di una politica poco incentivante e conveniente per i soggetti che arrivavano dall'esterno. Pertanto, gli investitori stranieri preferirono puntare su altri paesi dell'Europa centrale come l'Ungheria o la Polonia; quest'ultima aveva messo in atto delle strategie migliori che consentirono di far crescere l'economia del paese. Da quel momento i cechi capirono che per dare una svolta si doveva cambiare strategia e nel 1998 i responsabili politici iniziarono a premere per una politica liberale di investimenti diretti esteri (IDE), al fine di accelerare la ripresa industriale. Gli effetti positivi più rilevanti sono stati osservati proprio nel settore automobilistico, il quale passò dai 0,8 miliardi di euro nel 1998 ai 5,6 miliardi di euro nel 2006, un dato forte che rappresentava il 25% dello stock totale di IDE nel settore manifatturiero ceco (Ceska Narodni Banka, 2000; 2007). Durante quegli anni ci furono due progetti industriali di successo come la collaborazione tra Toyota e Peugeot-Citroën, che ha portato alla costruzione di uno stabilimento produttivo condiviso a Kolin-Ovcary in cui è iniziata nel 2005 la produzione di Peugeot 107, Citroën C1 e Toyota Aygo. Il secondo progetto che ha comportato un investimento da 1 miliardo di euro riguarda Hyundai a Nosovice, che dal 2009 costruisce 200.000 veicoli all'anno. Grazie agli investimenti stranieri, la Rep. Ceca è diventata centro di produzione di autoveicoli dell'Europa centrale e orientale. Nel 2006, tra i nuovi Stati membri dell'Unione Europea, è stata la prima per produzione, realizzando il 36,2% di tutti i veicoli a motore. Negli anni il settore automobilistico supporta soprattutto l'economia di questo paese, poiché rappresenta circa il 19,3% del fatturato totale dell'industria manifatturiera, riuscendo a dare lavoro al 10,3% della forza lavoro del settore e contribuendo al 17,9% delle esportazioni totali del Paese (Ministero dell'Industria e del Commercio, 2007). Nonostante la Rep.Ceca abbia una popolazione inferiore rispetto a quella della Polonia, si prevede che i nuovi investimenti aiuteranno la nazione a classificarla come uno dei principali produttori automobilistici europei. Questo consente loro di brevettare nuove tecnologie e di specializzarsi in nuovi ambiti.

Figura 13 RTA - Road Transport in AT, CZ e PL



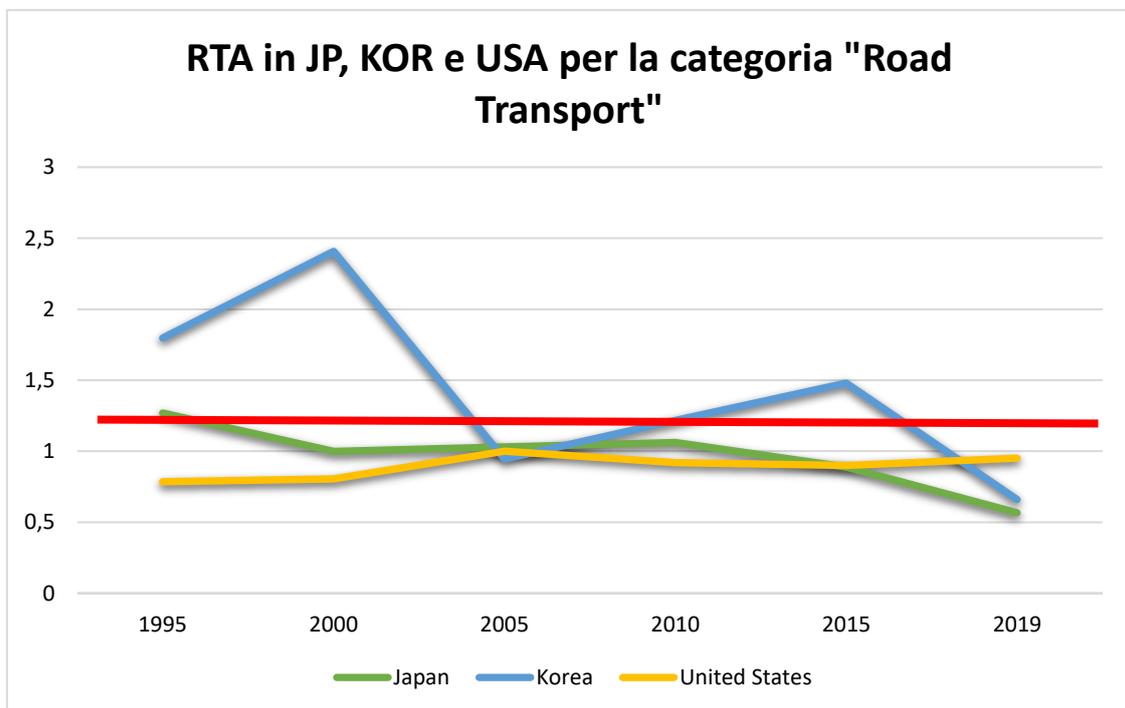
- Francia, Germania, Italia, Spagna e Svezia:** nel caso dei paesi dell'Europa continentale e mediterranea notiamo che Spagna e Italia sono sotto specializzate nella produzione di brevetti tecnologici nei mezzi di trasporto, mentre la Germania, come si evince dal grafico (Figura 14), domina tutti i paesi del gruppo con un RTA che raddoppia nel periodo considerato da 1,5 a quasi 3. Inoltre, possiamo osservare che paesi come la Svezia e la Francia hanno avuto un miglioramento negli ultimi anni perché sono riuscite a specializzarsi. Italia e Spagna, invece, sono le uniche due nazionalità di questo gruppo che non riescono a stare dietro ai paesi concorrenti, rimanendo sotto specializzati dato che presentano un RTA inferiore a 1.

Figura 14 RTA - Road Transport in FR, DE, IT, ES e SW



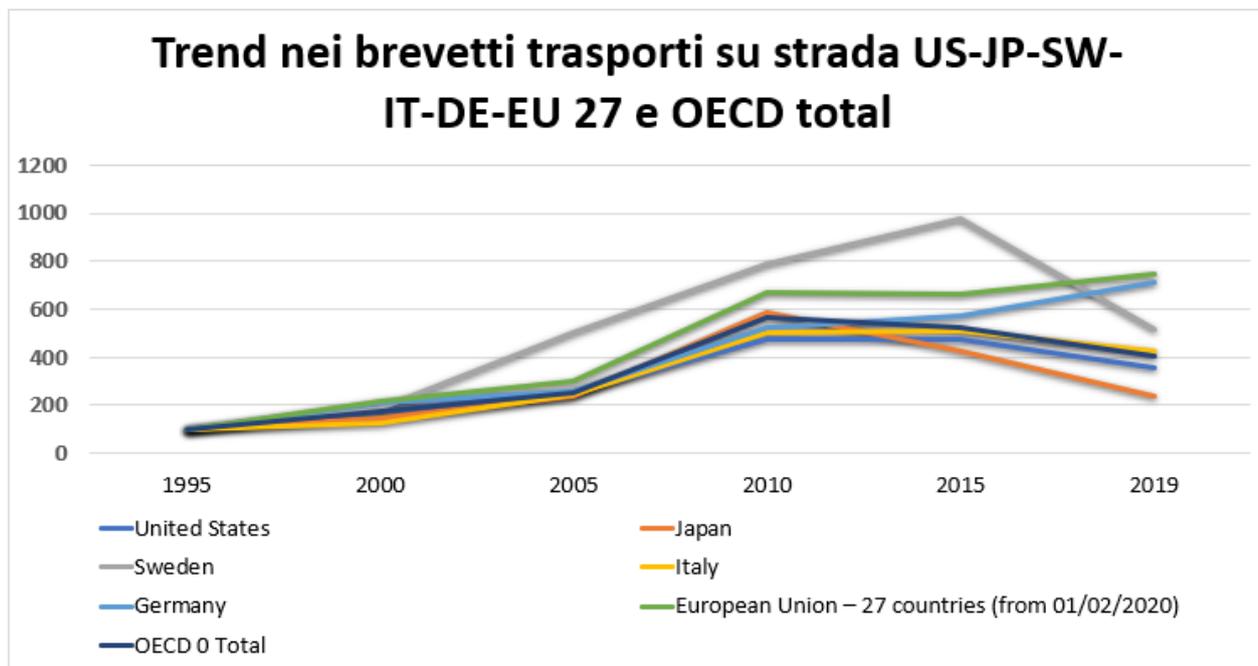
- **Giappone, Corea e Stati Uniti:** nel terzo gruppo sono stati messi insieme i paesi extra europei e possiamo osservare che gli USA stanno quasi sempre sotto ad 1, solamente nel 2005 ha avuto un leggero miglioramento nel grado di specializzazione che però poi è stato perso gli anni successivi. Per quanto riguarda il Giappone il grafico ci mostra che è un paese che a partire dagli anni 10 del nuovo secolo ha perso specializzazione nell'ambito dei paesi OECD. Anche la Corea ha avuto un calo di specializzazione negli ultimi anni, nonostante nella seconda metà degli anni '90 mostrasse una forte specializzazione.

Figura 15 RTA - Road Transport in JP, KOR e USA



I trend appena mostrati indicano il livello di specializzazione sui brevetti tecnologici per trasporto su strada di vari paesi e, se confrontato con il trend nel numero di brevetti per trasporto su strada prodotti, notiamo che la performance dell'Unione Europea a 27 si spiega soprattutto con l'attività inventiva svedese e tedesca (Figura 16). Al momento paesi come Italia, USA e Giappone sono ben più lontani dai big del mercato, questo lo si evince in quanto c'è stata una diminuzione del trend nel corso del tempo a partire dal 2010 circa fino al 2019.

Figura 16 Trend Road Transport in USA, JP, SW, IT, DE, EU e OECD total



Una volta vista la panoramica generale sui trend del settore dell'automotive, ci rimane da capire: quali tra le categorie specifiche di brevetti si può configurare come nuovo pattern di riferimento; quale sarà la tecnologia dominante; se tra queste tecnologie ce n'è una più sviluppata delle altre, comprendere lo stato di avanzamento.

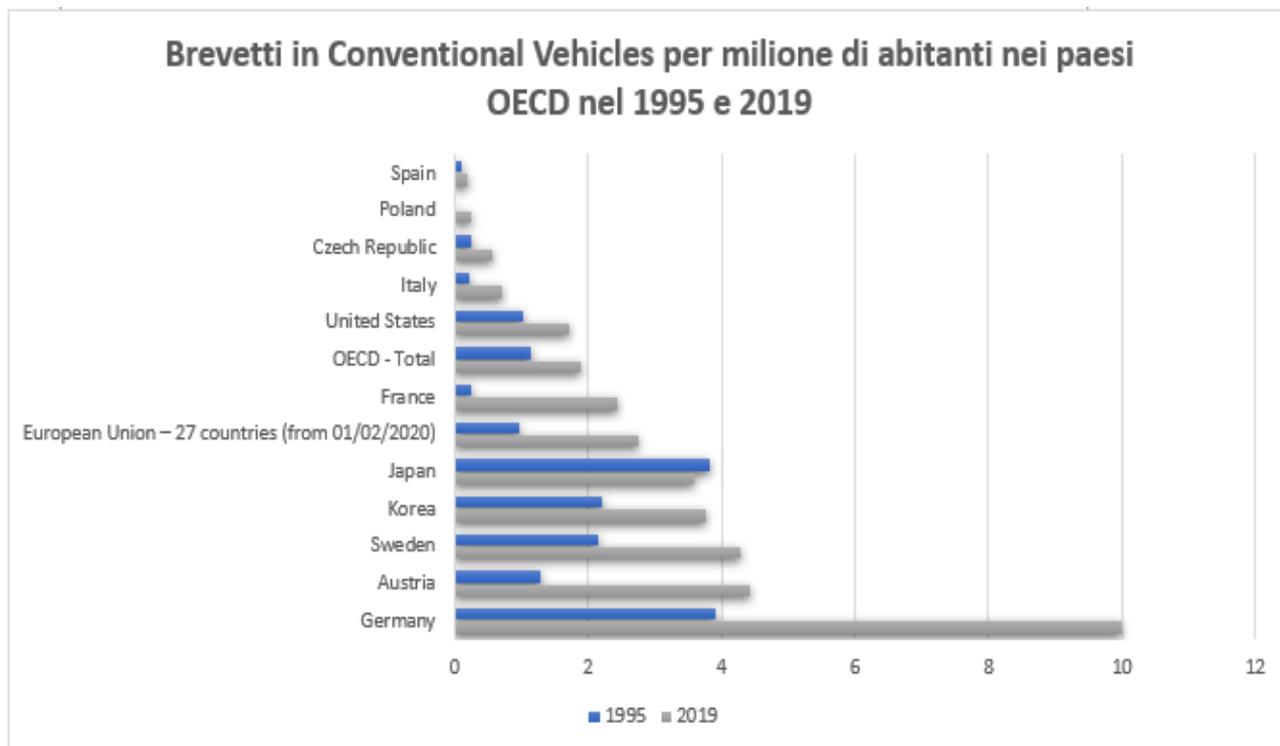
3.2.2 Brevetti per la categoria Conventional Vehicles (CV)

L'elaborato prosegue con l'analisi dei dati di una tra le sottocategorie appartenenti alla macrocategoria dei brevetti per Road Transport: i **Conventional Vehicles**. Quando si parla di quest'ultima, si fa riferimento ai veicoli convenzionali alimentati a benzina o a diesel che per la maggior parte del tempo hanno dominato il panorama automobilistico. Ancora oggi i veicoli tradizionali sono quelli tra i più venduti e quelli maggiormente in circolazione ma, poiché sono emerse varie problematiche relative all'inquinamento ambientale, a breve verranno rimosse dal mercato e verranno sostituiti da veicoli alimentati da carburanti green come l'elettrico, l'idrogeno, biocarburanti o e-carburanti.

Per questo tipo di analisi, sono stati presi solamente i dati degli undici paesi protagonisti del settore delle auto, oltre a quelli relativi al gruppo dei paesi OECD e al gruppo EU 27. Quello che balza subito in primo piano è che la Germania, anche in questo caso, è leader nella produzione di brevetti per veicoli convenzionali, ottenendo il primato già nel 1995 e mantenuto fino al 2019 superando di poco

il Giappone. I tedeschi sono passati da una produzione di quasi 4 brevetti per milione di abitante ai 10 brevetti per milione di abitante.

Figura 17 Brevetti nei Conventional Vehicles



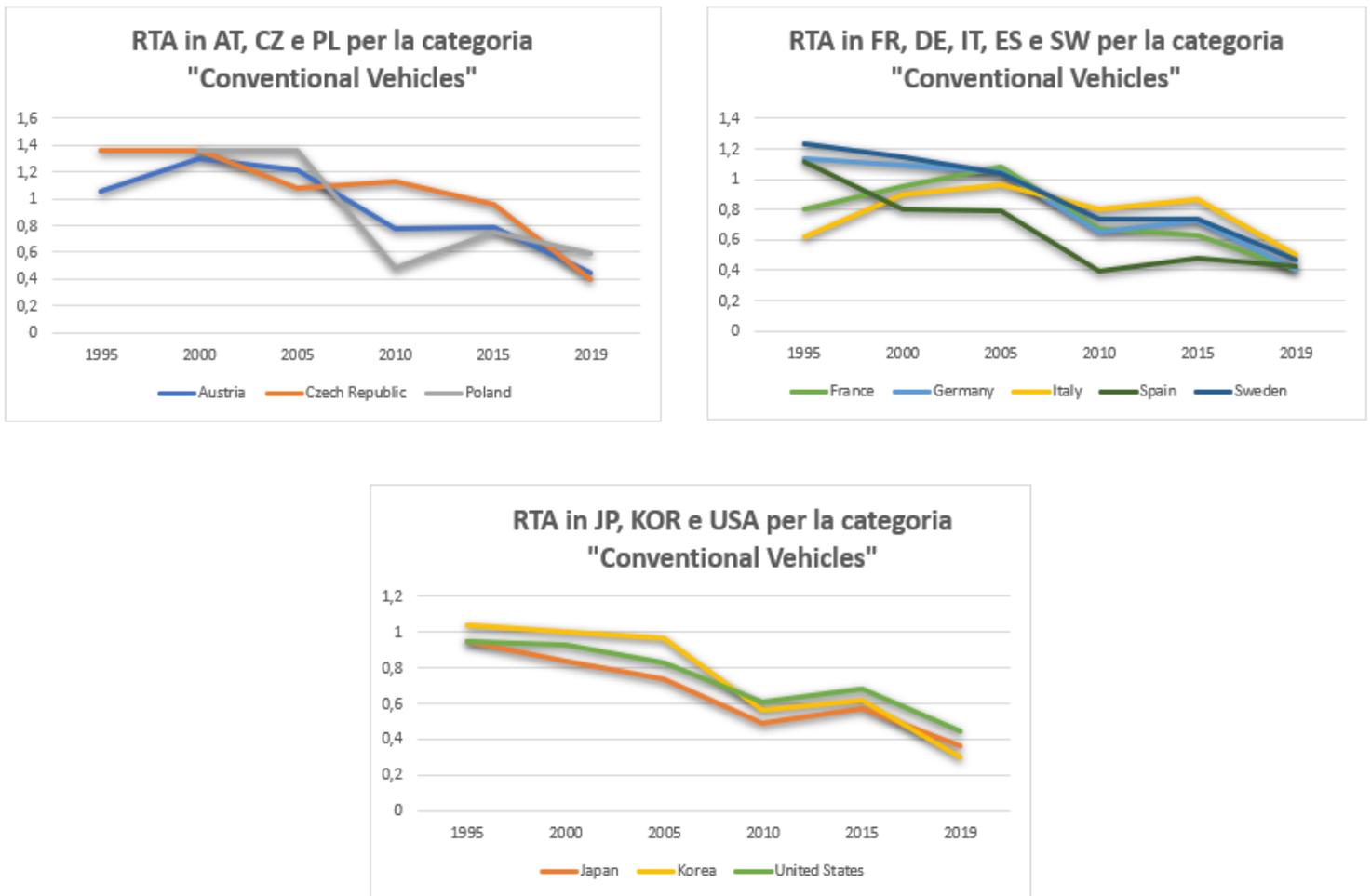
Un dato sicuramente rilevante è quello dell'Austria che si posiziona al secondo posto, poiché ha più che raddoppiato la produzione di brevetti nel corso degli anni. Tale risultato si spiega per il fatto che il settore automobilistico nello stato austriaco è uno dei tre settori industriali più produttivi nel paese e, considerando che il settore industriale è quello principale, circa 1/3 del PIL del paese deriva dal settore produttivo, tra cui quello dell'automotive. Nonostante l'industria automobilistica austriaca sia piccola rispetto al settore automobilistico europeo, nel 2020 ha raggiunto il quarto valore più alto di produzione tra i settori industriali, ottenendo un fatturato annuo di 10,5 miliardi di euro. Il centro principale della produzione automobilistica in Austria è situato negli Stati dell'Alta Austria e della Stiria e rappresenta quasi il 75% del fatturato dell'industria nazionale, in grado di dare lavoro a più di due terzi della forza lavoro del settore, corrispondente a circa 37.500 dipendenti. Il punto forte dell'industria automobilistica austriaca è la produzione di macchine e moto e, nonostante ci siano vari marchi stranieri, il paese è specializzato anche nella produzione di moto per il brand KTM. Però la crescita del paese è dovuta per gran parte agli IDE, i quali hanno permesso a società/marchi importanti come BMW di delocalizzare i propri stabilimenti produttivi anche in Austria che fino a circa 50 anni fa rappresentavano solo il 0,3% - 0,4% del PIL del paese. Alla fine degli anni 80', con l'ingresso della nazione all'interno dell'Unione Europea, gli IDE esplosero, anticipando il picco degli IDE nel resto del mondo. Non solo, in Austria ci fu un'ulteriore crescita negli anni che favorì lo sviluppo e il

potenziamento dell'economia della nazione. Già agli inizi degli anni 80' ci furono i primi cenni di cambiamento quando ci fu un progetto di investimento da parte della GM (General Motors). Inoltre, l'incentivo delle altre nazioni ad effettuare investimenti in terra austriaca è dettato dal fatto che si trova in una posizione strategica in quanto situata al centro dell'Europa (in questo modo la fase di distribuzione è facilitata) e soprattutto perché le aziende hanno dei vantaggi fiscali (per le attività di R&S hanno un premio fiscale del 14% esteso a qualunque tipo di spesa e soprattutto non presenta un limite). In aggiunta, grazie all'ABA (Austrian Business Agency), ente governativo austriaco, le aziende sono supportate dalla fase preliminare di sviluppo e valutazione del progetto, alla fase di ottenimento dei finanziamenti, fino ad arrivare alla fase di avviamento dell'attività senza alcun costo. Per principi simili al territorio austriaco, anche la Svezia ha una posizione rilevante nella produzione di brevetti per la categoria dei Conventional Vehicles, producendo poco più di 4 brevetti per milione di abitanti. Giappone e Corea, invece, sono paesi che stanno dietro perché hanno ormai optato da anni allo sviluppo di brevetti per tecnologie moderne come quelle che vedremo in seguito. Il Giappone nel 1995 era il leader con la Germania, mentre ora è stata superata da Corea, Svezia, Austria e Germania. I paesi del continente asiatico rimangono comunque più avanzati rispetto alla potenza americana che produce quasi 2 brevetti per milione di abitanti. L'UE 27 si trova davanti al gruppo dei paesi OECD, producendo quasi 3 brevetti per milione di abitanti, anche se questo risultato è spiegato principalmente dai paesi europei presenti nelle prime posizioni e sicuramente non dall'Italia o Rep. Ceca che producono meno di due brevetti per milione di abitanti. Infine, Spagna e Polonia hanno una posizione quasi irrilevante sia nel 1995 che nel 2019, poiché producono meno di un brevetto per milione di abitanti per i veicoli tradizionali.

RTA

In merito all'indice dei vantaggi tecnologici rivelati, i dati ottenuti ci mostrano che nella categoria dei Conventional Vehicles nel 2019 nessun paese, tra quelli selezionati, si sta specializzando nel creare nuovi brevetti per auto alimentate a diesel o benzina. Il trend mostrato nei grafici (Figura 18) per tutti i paesi è rappresentato da un evidente trend decrescente. Considerando che per costruzione questo indice dovrà essere sopra 1 in altri paesi OECD non selezionati in questo studio, quello che possiamo dire è che una leadership tecnologica sui veicoli tradizionali viene lasciata a paesi che non hanno forti tradizioni produttive nel settore automobilistico.

Figura 18 RTA – Conventional Vehicles



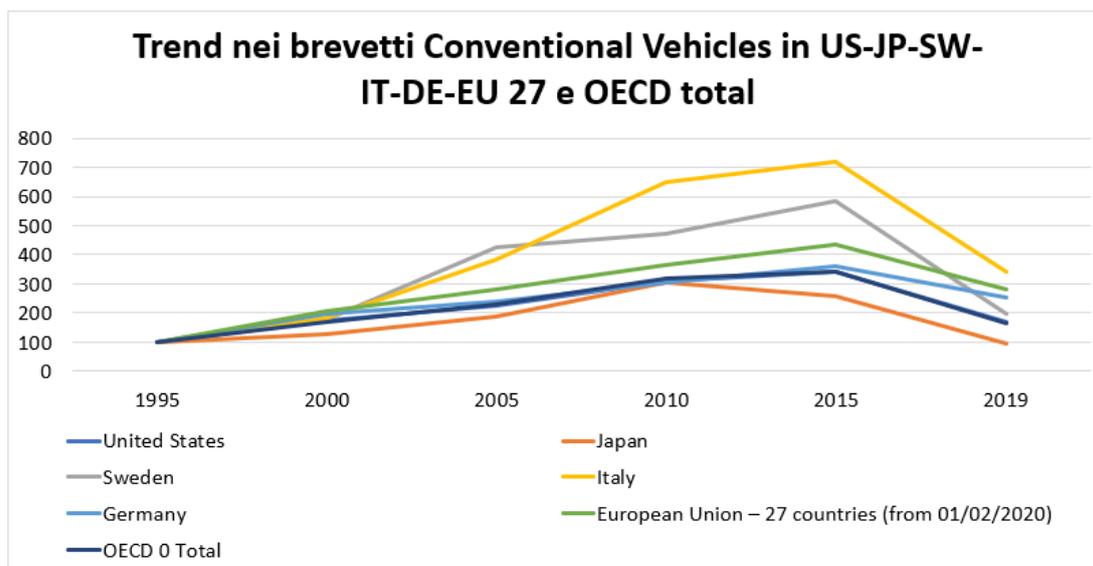
Riguardo ai paesi selezionati, è facile trovare una ragione della perdita di specializzazione nelle politiche a favore delle riduzioni di emissioni.

Nel 2019 l'indice RTA più alto, pari a 0,6, è quello della Polonia che anche tra la fine degli anni 90' e inizi degli anni 2000 manteneva un elevato grado di specializzazione, nonostante sia un paese che produce pochi brevetti per milione di abitante. Invece, le grandi potenze come Germania, Giappone, Corea, Austria e Svezia hanno un basso tasso dell'RTA che è sotto la soglia di riferimento pari a 1, ma come abbiamo detto è un risultato anche abbastanza intuitivo dato che, come vedremo, questi paesi hanno diminuito gli investimenti per la categoria dei veicoli tradizionali al fine di impiegare le risorse economiche in modo alternativo per poter favorire la creazione e l'invenzione di nuove tecnologie che sono in grado di facilitare/supportare lo sviluppo di autovetture alimentate da carburanti green. Dall'altro lato, i leader di mercato possiamo notare che circa dieci/vent'anni fa, quando i CV avevano raggiunto il loro picco, erano paesi altamente specializzati tranne USA e Giappone che sono rimasti sempre un po' più arretrati. Anche altri stati come Italia, Spagna e Francia

sono stati sempre poco specializzati e più indietro nelle scoperte e nell'innovazione, tanto da avere un grado di specializzazione mediamente sempre sotto l'1.

Un'ulteriore conferma di quanto detto finora è illustrata nel grafico sottostante (Figura 19) in cui notiamo che il trend nei brevetti per CV ha superato la fase di picco e ha una rapida discesa verso il basso. Quello che possiamo osservare, però, è che l'Italia già dai primi anni 2000 guidava il trend davanti a tutti e forse si può spiegare con lo scetticismo e quindi il ritardo con cui l'amministratore delegato dell'unica multinazionale dell'auto italiana rimasta, guardava allo sviluppo dei motori elettrici ed altri mezzi di propulsione alternativi a bassa emissione. Quello che possiamo osservare, però, è che l'Italia già dai primi anni 2000 guidava il trend davanti a tutti e forse si può spiegare con lo scetticismo e quindi il ritardo con cui l'amministratore delegato dell'unica multinazionale dell'auto italiana rimasta, guardava allo sviluppo dei motori elettrici ed altri mezzi di propulsione alternativi a bassa emissione. Questo perché, quando la Fiat iniziò a produrre il modello 500e intorno al 2013, Sergio Marchionne, allora CEO di FCA, evidenziò gli aspetti negativi derivanti dalla produzione e vendita di auto elettriche. Durante il congresso della Society of Automotive Engineers, infatti, Marchionne disse chiaramente che la Fiat perdeva 10.000 dollari per ciascun modello di 500e che vendeva sul mercato. Nel 2014 dichiarò che le perdite erano iniziate ad aumentare, passando a 14.000 dollari per ciascun veicolo 500e venduto e dati un po' più recenti come quelli del 2017, indicavano perdite fino a 20.000 dollari per ciascun veicolo venduto. Il CEO, infatti, criticava molto le leggi e le regolamentazioni che i governi stavano mettendo in atto perché spingevano le aziende ad investire in carburanti alternativi come il gas naturale, anziché supportarle nell'investimento di veicoli elettrici. Quindi, le auto di questo tipo avevano ancora poco supporto da parte della politica e soprattutto avevano pochi incentivi economici, dato che veicoli a motore di questo tipo hanno costi di produzione ben più alti dei veicoli convenzionali. Pertanto, mentre si cercano nuove soluzioni per le auto del futuro, contemporaneamente il paese si è concentrato sull'ottimizzazione delle tecnologie esistenti, cercando di ottimizzare le tecnologie dei veicoli convenzionali, con conseguente deposito di nuovi brevetti. Gli altri paesi come la Germania o Giappone hanno dapprima virato su nuove tecnologie e questo vale anche per i gruppi come EU 27 e i paesi dell'OECD.

Figura 19 Trend Road Transport in USA, JP, SW, IT, DE, EU e OECD total



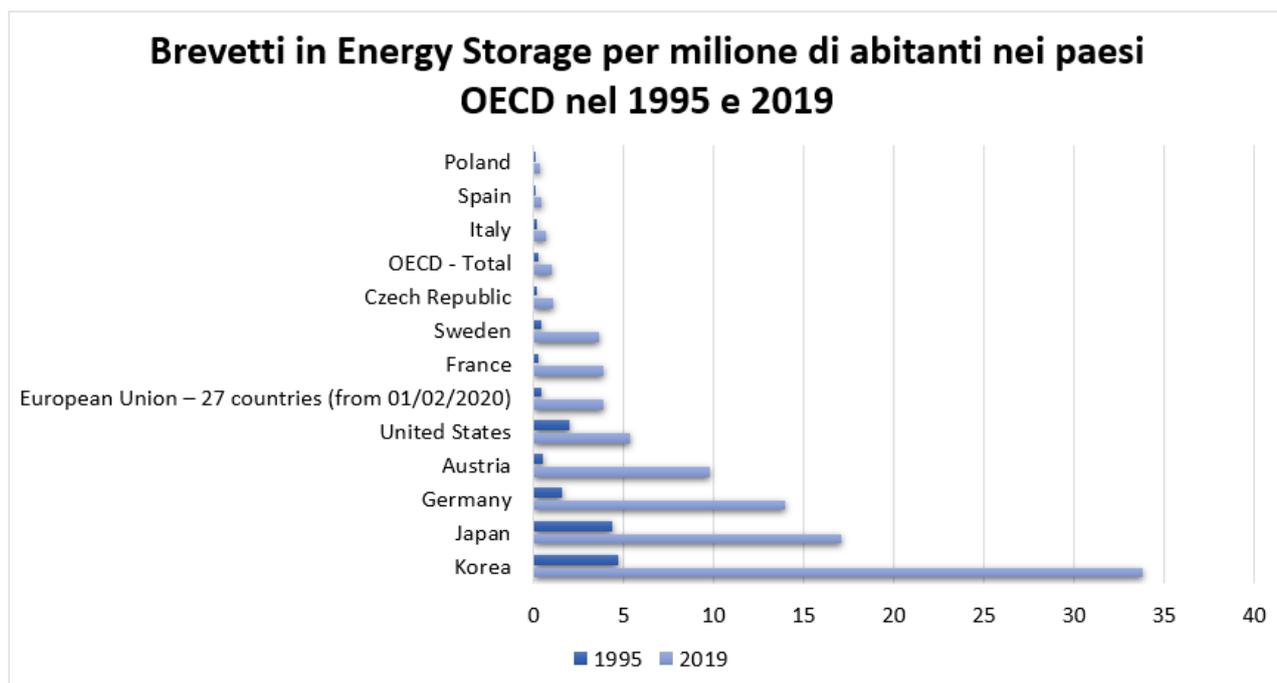
3.2.3 Brevetti per la categoria Energy Storage (ES)

In questo paragrafo studieremo i brevetti tecnologici relativi alla categoria dell'**Energy Storage**, un elemento chiave per le auto che si concentra sull'autonomia e la capacità di stoccaggio della potenza delle batterie. Fanno parte di questo gruppo quelle tecnologie che consentono di accumulare energia e trasformarla in potenza per il veicolo, come le batterie delle auto, i condensatori, accumulatori di energia meccanica/termica e volani. Queste componenti meccaniche sono quelle su cui in questo momento le aziende stanno spingendo maggiormente perché grazie ad esse è possibile poter convertire altre forme di energia in potenza, senza inquinare l'ambiente esterno.

Esaminando il grafico sotto riportato (Figura 20), vediamo che i grandi gruppi come l'UE 27 rispetto al gruppo dei paesi appartenenti all'OECD sono quelli che brevettano di più, circa 8 brevetti per milione di abitanti e che stanno sopra paesi come gli USA, che invece producono circa 4 brevetti per milione di abitanti. Inoltre, se confrontando questo numero del gruppo EU 27 con quelli della categoria dei CV, notiamo che per la classe dell'ES c'è una maggiore produzione di brevetti. I paesi europei che mantengono il gruppo dell'EU 27 in una buona posizione nel ranking sono Austria e Germania. Quest'ultima non è il leader nella produzione dei brevetti per ES, poiché produce poco meno di 15 brevetti per milione di abitante, mentre la Corea è avanti su tutti dato che al momento produce quasi 35 brevetti per milione di abitanti, mantenendo la prima posizione già dal 1995. Subito dopo la Corea c'è un altro grande leader che produce poco più di 15 brevetti per milione di abitante ed è il Giappone che anche nel 1995 era uno tra i migliori produttori. L'Italia, invece, rispetto alle grandi potenze europee è ancora indietro dato che si trova solo al diciannovesimo posto, perdendo qualche posizione rispetto al 1995 quando era circa quindicesima. Al momento produce solamente

circa 3 brevetti per milione di abitanti. Dopo Corea, Giappone e Germania troviamo l’Austria che, grazie agli stabilimenti produttivi degli altri paesi, è sempre all’avanguardia producendo quasi 10 brevetti per milione di abitanti. Gli USA seguono gli austriaci, anche se questi ultimi nel 1995 erano più indietro, ma sono riusciti a migliorare grazie agli IDE che hanno fatto risollevare l’economia del paese. Paesi come Spagna e Polonia sono invece ancora indietro, si avvicinano a malapena alla media dei paesi OECD.

Figura 20 Brevetti in Energy Storage

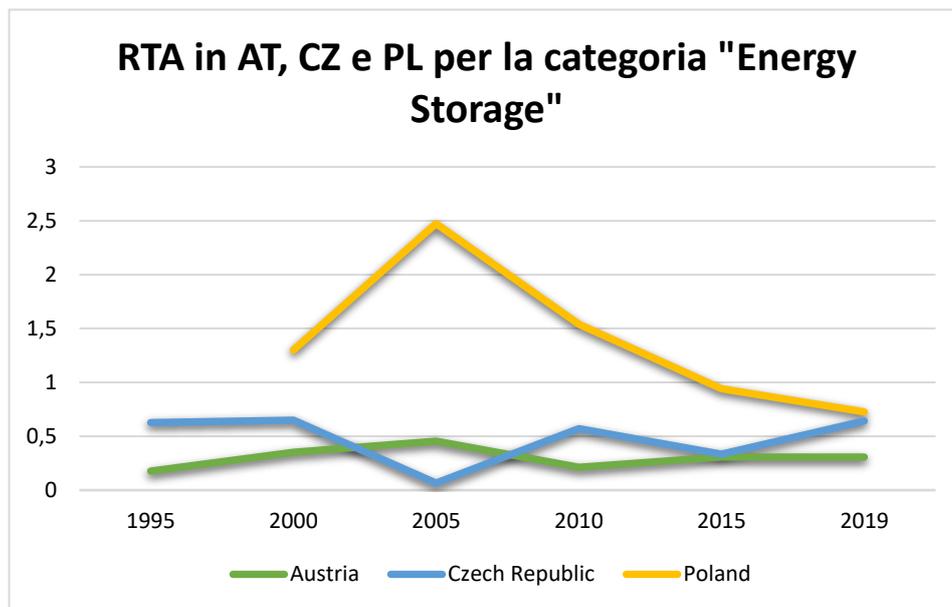


RTA

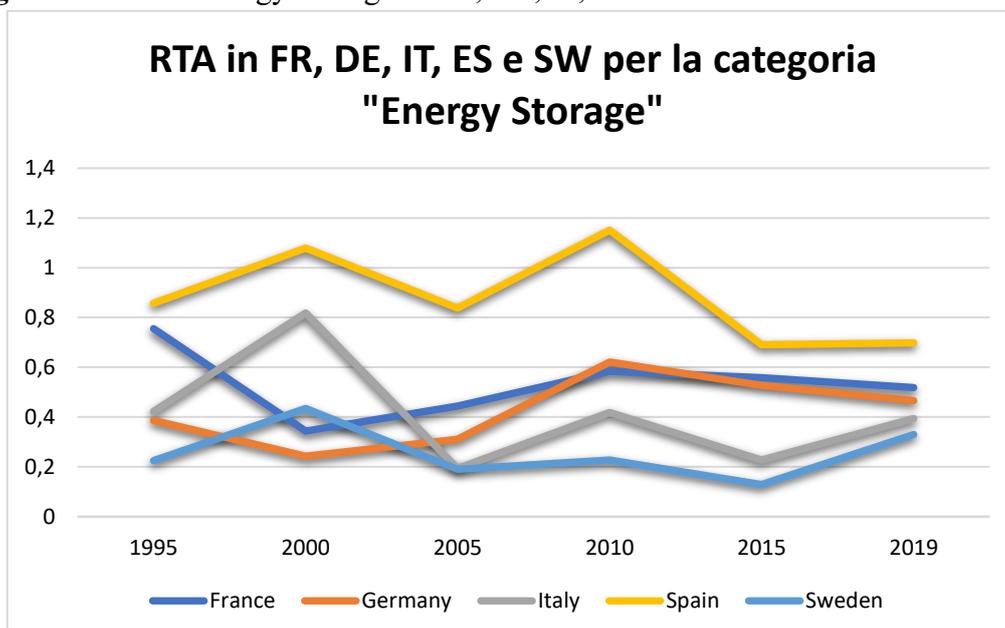
In merito all’indice dei vantaggi tecnologici rivelati, con i risultati ottenuti è stato possibile osservare che nei vari paesi:

- Austria, Repubblica Ceca e Polonia:** ciascun paese è poco specializzato poiché, come si evince dal grafico (Figura 21), nel 2019 gli indici di ciascuna nazione sono sotto 1. A differenza della Rep. Ceca e dell’Austria, la Polonia dai primi anni del 2000 ha iniziato a specializzarsi e già nel 2005 era fortemente specializzata, tanto da raggiungere un indice RTA pari a 2,5. Dal 2005 fino al 2019, però, ha iniziato a diminuire fino ad andare sotto l’1. Per quanto riguarda Austria e Rep. Ceca, invece, sin dalla fine degli anni 90’ c’è stato un andamento abbastanza costante vicino allo 0,5, evidenziando che tali nazioni sono sotto specializzate. Solo la Rep. Ceca mostra un cenno di risalita nel 2019 che però non ci permette di capire se a questa crescita seguirà nuovamente un calo. L’Austria, invece ha un andamento molto lineare e quasi costante per ogni anno.

Figura 21 RTA – Energy Storage in AT, CZ e PL

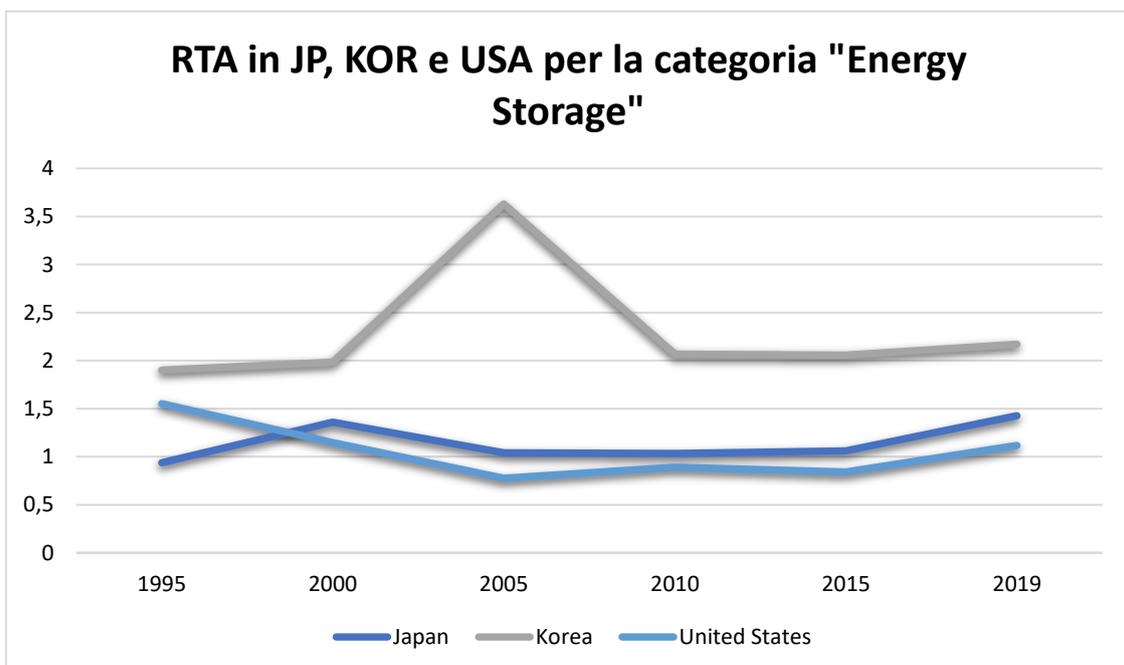


- Francia, Germania, Italia, Spagna e Svezia:** anche le grandi potenze europee presentano dei bassi livelli di specializzazione, perché sia Francia, che Germania, Italia, Spagna e Svezia hanno un indice RTA che è inferiore ad 1. L'unico paese che per un periodo di quasi dieci anni, dal 2005 al 2015, si è specializzato è la Spagna anche se nel 2019 ha un andamento piatto sotto l'1. Persino la Germania, nonostante sia uno dei paesi leader nel mondo, non ha mai avuto un alto grado di specializzazione e nel 2019 sembra che abbia un trend verso il basso. Svezia, Francia e Italia presentano un andamento alternato tra momenti in cui in alcuni paesi sembrano specializzarsi ad andamenti verso il basso in cui l'indice diminuisce, non mostrando grandi segni di ripresa futuri.
- Figura 22** RTA – Energy Storage in FR, DE, IT, ES e SW



- Giappone, Corea e Stati Uniti:** sono i tre paesi maggiormente specializzati in brevetti tecnologici per lo stoccaggio dell'energia. In primo luogo, la Corea è il leader del mercato in brevetti di questo tipo ed è fortemente specializzata poiché presenta un indice RTA pari a 2 nel 2019, nonostante avesse un indice nel decennio tra il 2000 e il 2010 superiore a 3,5. Questi numeri sono spiegati dal fatto che la Corea è uno stato che investe molto nella tecnologia e nell'innovazione; infatti, sono stati i leader per la produzione di batterie agli ioni di litio, le quali sono fondamentali per le differenti applicazioni nell'ambito dello stoccaggio dell'energia, per esempio nei veicoli elettrici (EV) alimentati da batterie lo stoccaggio dell'energia è fondamentale per la potenza e l'autonomia del veicolo. Anche il Giappone è un altro paese orientato alla scoperta di nuove soluzioni alternative per lo stoccaggio dell'energia, tanto da investire molto nella ricerca di tecnologie sempre più all'avanguardia per le batterie, oltre alla scoperta di nuove componenti che consentono di migliorare l'accumulo di energia. Il Giappone, infatti, è subito dopo la Corea e ha un indice RTA che nel 2019 è quasi pari a 1,5 e che mostra un andamento crescente che tende verso l'alto. Pure gli USA si stanno specializzando nello stoccaggio dell'energia, soprattutto nelle batterie dei veicoli e, dopo un grado di specializzazione basso, nel 2019 hanno un trend positivo sopra l'1 per la quale ci aspetta che negli anni a seguire continuerà a crescere, dato che sono stati stanziati nuovi piani di investimento.

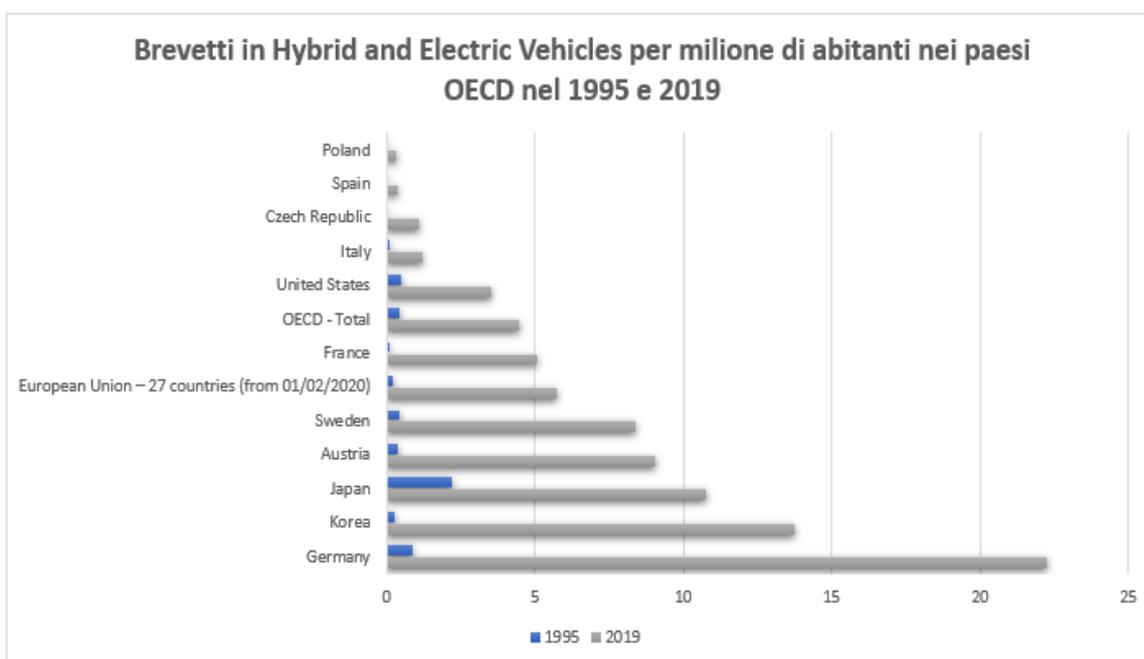
Figura 23 RTA – Energy Storage in JP, KOR e USA



3.2.4 Brevetti per la categoria Hybrid/Electric Vehicles (H-EL)

In questo paragrafo verranno analizzati i dati sui brevetti tecnologici del settore automobilistico che appartengono alla categoria **Hybrid and Electric Vehicles**. Nel primo grafico sotto riportato (Figura 24) andando ad esaminare i grandi gruppi come l'UE 27 notiamo che, ancora una volta, brevettano di più rispetto ai paesi appartenenti all'OECD, realizzando circa 6 brevetti per milione di abitanti. Anche in questo caso, i paesi europei che mantengono in alto nel ranking il gruppo EU 27 sono la Germania, l'Austria e la Svezia. Questi tre insieme a Corea e Giappone sono i leader nella produzione dei brevetti per ibridi ed elettrici: solo la Germania produce circa 22 brevetti per milione di abitante nel 2019, rispetto a circa i 2 che produceva nel 1995, in cui il leader era il Giappone e che attualmente si trova in terza posizione. I dati della Germania sono sempre in linea con quello che ci si aspetta dato che i marchi tedeschi stanno investendo soprattutto in questa tipologia di veicoli. La Corea è una nazione al passo con il mercato e che, come la Germania, sta investendo molto nelle auto elettriche, producendo quasi 15 brevetti per milione di abitanti, a differenza del 1995 in cui questo valore era pressoché 1. La crescita dei numeri della Corea è correlata agli impianti di produzione e a marchi importanti (illustrati nella parte che segue degli RTA) che realizzano batterie a liquido di ioni e che spiegano la loro leadership in tutto il mondo dopo la Cina. Il Giappone ha perso il primato del 1995, ma nel 2019 ha comunque un peso rilevante dal momento che realizza poco più di 10 brevetti per milione di abitanti. Subito dopo vengono rispettivamente Austria e Svezia che, rispetto a Francia, Spagna, Italia e Polonia, sono tra i paesi che producono più brevetti: Austria quasi 10 per milione di abitante e Svezia poco meno. L'Italia ha una posizione quasi irrilevante perché produce solamente 2 brevetti per milione di abitante e che, in un settore in continua evoluzione come quello automobilistico, non riesce a stare dietro ai big del mercato, nonostante il nostro paese si stia decisamente impegnando in ottica della sostenibilità ambientale, visto che marchi come Fiat e Alfa Romeo che hanno immesso sul mercato i primi modelli elettrici, oltre ai brand di lusso come Ferrari e Lamborghini.

Figura 24 Brevetti nei veicoli Ibridi ed Elettrici



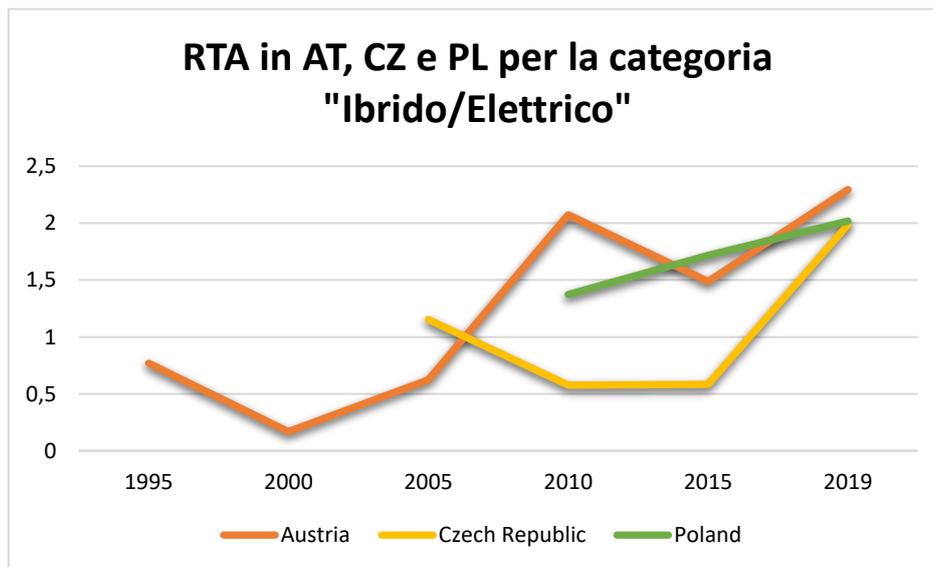
RTA

In relazione all'indice dei vantaggi tecnologici rivelati, i dati elaborati per la categoria dell'elettrico e dell'ibrido sono dati aggregati. Sulla base dei risultati ottenuti è stato possibile riscontrare che c'è un trend generale abbastanza positivo; infatti, tra le varie nazioni possiamo osservare che:

- **Austria, Repubblica Ceca e Polonia:** tutti e tre i paesi hanno un andamento più che positivo, con trend tendenti verso l'alto che crescono esponenzialmente. Il paese più specializzato è l'Austria che ha un indice RTA quasi pari a 2,5 che è ben più alto di quello che aveva alla fine degli anni 90' e gli inizi degli anni 2000 in cui era ulteriormente sceso vicino allo zero. Per la Rep. Ceca e Polonia non disponiamo dei dati per l'intero periodo, ma vediamo come negli ultimi anni ci sono stati dei miglioramenti fino a raggiungere, per entrambe le nazionalità, un livello di specializzazione pari a 2. Questi valori sono spiegati da molteplici fattori, per esempio: nel territorio ceco, Skoda aveva annunciato che nell'estate del 2021 avrebbe messo in atto una strategia aziendale fino al 2030 chiamata "Next Level - Skoda Strategy 2030", dove l'hub di produzione era dedicato al 100% alla mobilità elettrica. Infatti, nei primi sei mesi del 2022, il marchio di Volkswagen ha prodotto circa 34.000 veicoli elettrici. Hyundai Motor Czech Republic ha risposto producendo ben 30.000 auto elettriche, il 18% del totale di auto prodotte. Gli austriaci, invece, con il loro unico costruttore che è la Magna Steyr di Graz, si occuperà anche della linea di veicoli ibridi ed elettrici, come ad esempio la Jaguar I-PACE puramente elettrica. Nel giugno 2022, inoltre, il gruppo BMW ha reso noto un ingente

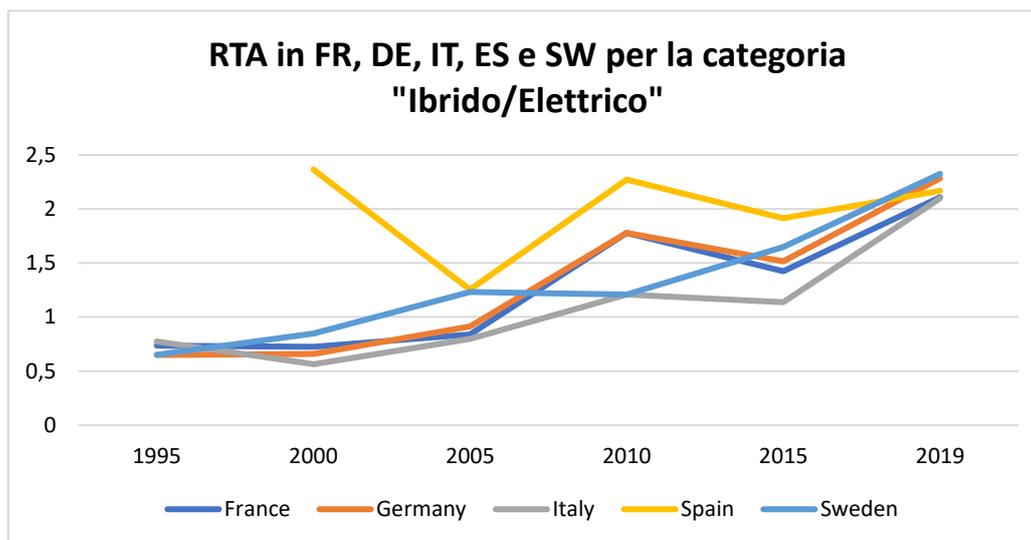
investimento per BMW Motoren GmbH, che è produttore di motori a combustione in Austria da più di 40 anni ed è una delle aziende austriache più importanti. Lo stabilimento sarà in grado di sviluppare motori elettrici a partire dal 2025, oltre allo sviluppo di alcuni propulsori BMW eDrive, assemblando all'incirca 600.000 motori elettrici ogni anno. In aggiunta, l'Europa ha effettuato degli investimenti per poter creare una propria catena di fornitura di batterie, mettendo in piedi vari progetti come l'IPCEI European Battery Innovation che comprende sei aziende austriache o l'IPCEI Batteries che include due aziende polacche.

Figura 25 RTA – Ibrido/Elettrico in AT, CZ e PL



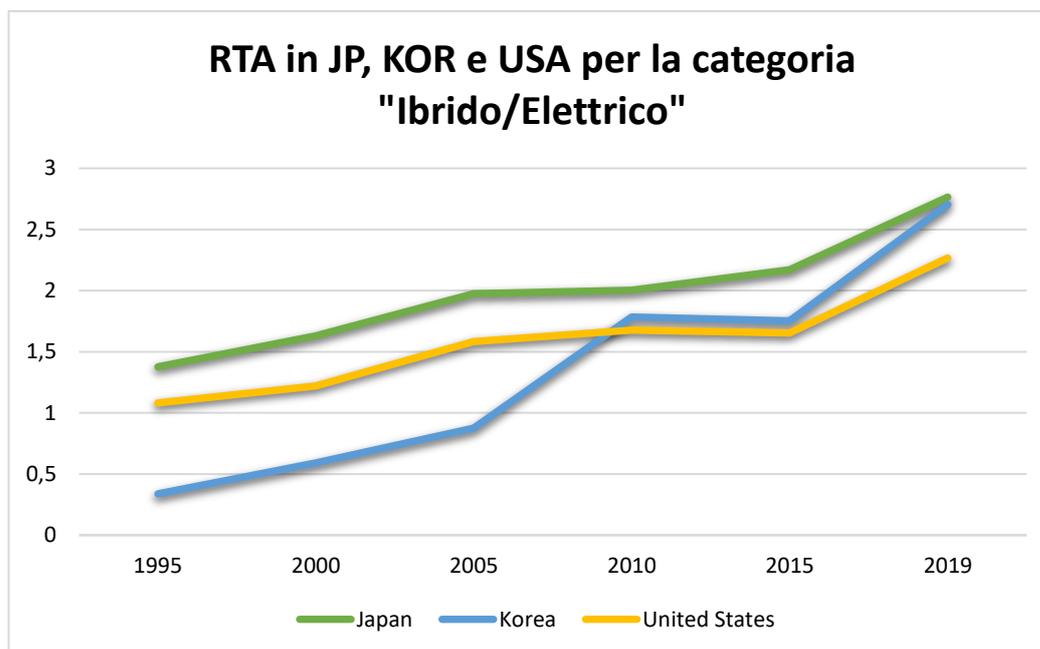
- Francia, Germania, Italia, Spagna e Svezia:** nel caso dei paesi dell'Europa continentale mediterranea notiamo che tutti i paesi sono altamente specializzate nella produzione di brevetti tecnologici per veicoli ibridi/elettrici. I leader sono la Germania e la Svezia che, come si evince dal grafico (Figura 26), hanno l'indice RTA più alto degli altri paesi ed è quasi pari a 2,5. La Germania sta continuando a specializzarsi nelle batterie ed in particolar modo nelle materie prime per le batterie, per esempio Volkswagen ha programmato un investimento 20 miliardi di euro in sei impianti di batterie europei sia in Germania, Svezia e Spagna. Ecco spiegati i risultati della Svezia che superano di pochissimo la Germania, mentre la Spagna è il paese che segue le due leader tra quelle del gruppo con un indice RTA poco sopra il 2, nonostante nel 2005 avesse avuto un calo. Infine, ci sono Francia e Italia che, seppur meno specializzate degli altri paesi, hanno comunque entrambe un ottimo livello di specializzazione che è circa poco più di 2.

Figura 26 RTA – Ibrido/Elettrico in FR, DE, IT, ES e SW



- **Giappone, Corea e Stati Uniti:** in questo macrogruppo troviamo i due paesi leader tra tutti e maggiormente specializzati che sono Corea e Giappone. Alla base di questo risultato ci sono varie spiegazioni, come ad esempio la Corea del Sud che si trova al secondo posto per la produzione mondiale di batterie grazie a marchi coreani di batterie come LG Chem, Samsung SDI e SK Innovation. LG Chem collabora con clienti come Ford, Renault, Hyundai, Tesla, Volkswagen e Volvo. Samsung SDI, controlla dei centri di produzione in Corea del Sud, Cina e Ungheria e fornisce batterie a brand come BMW, Volvo e Volkswagen. La SK Innovation, invece, è passata a produrre batterie a ioni di litio rispetto a prima che era nata come raffineria del petrolio. Serve clienti importanti come Volkswagen, Mercedes, Kia e persino Ferrari. SK Innovation sta allargando i propri stabilimenti produttivi a seguito degli investimenti, pari a 3,3 miliardi di dollari, effettuati in tre nuovi stabilimenti negli Stati Uniti, in Cina e in Ungheria. Ecco perché anche negli USA si è verificato un incremento del livello di specializzazione del paese per un valore superiore a 2, ben più alto del livello soglia. Per quanto riguarda il Giappone, invece, ha un livello di specializzazione pari a 2,3 circa che è poco più alto di quello della Corea. Tra i giganti giapponesi, per esempio, troviamo Panasonic Corp che ha Tesla come cliente principale. Panasonic ha ampliato i propri investimenti e con una spesa di circa 1,6 miliardi di dollari ha creato uno stabilimento nel Nevada. Nel frattempo, altri progetti sono in programma, tra cui quello con Toyota. Il Giappone rimane una delle nazioni più avanzate nella ricerca e nell'innovazione sulle batterie, il quale si aggiudica il primato nella corsa ai brevetti (2.339 solo nell'ambito dell'elettrico e delle batterie, mentre la Corea 1.230).

Figura 27 RTA – Energy Storage in JP, KOR e USA



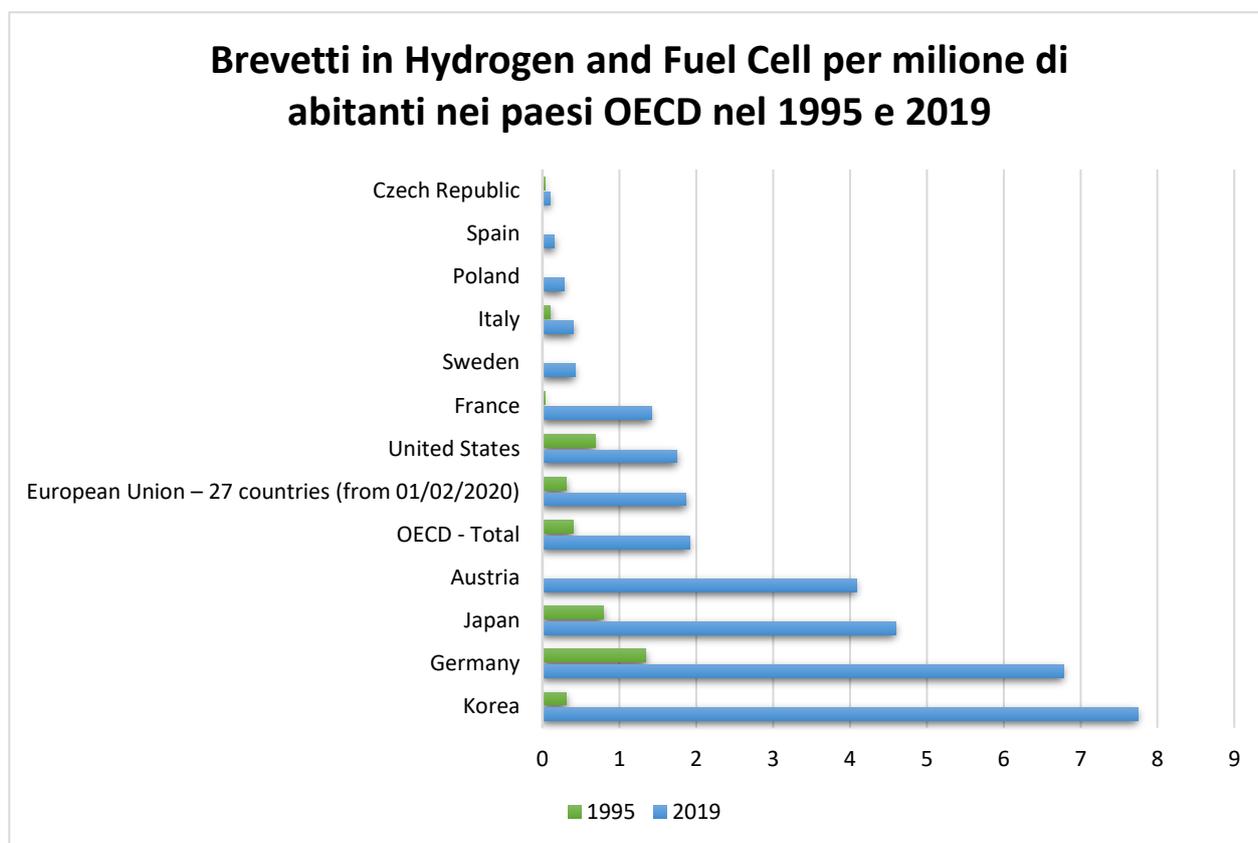
3.2.5 Brevetti per la categoria Hydrogen/Fuel Cell (H-FC)

Questa sezione è dedicata all'esame dei dati sui brevetti tecnologici del settore automobilistico che appartengono alla categoria **Hydrogen and Fuel Cell**. Procedendo con l'analisi, nel grafico sotto riportato (Figura 28) possiamo vedere che il paese che produce un maggior numero di brevetti è la Corea con ben quasi 8 brevetti per milione di abitanti. Anche in questo caso i coreani stanno davanti a tutti, sebbene Paesi come la Cina e Giappone siano in diretta concorrenza per la realizzazione di brevetti di questo tipo.

La Corea ha avuto una crescita importante dal 1995, poiché in quegli anni produceva meno di un brevetto per milione di abitanti. Infatti, alla fine degli anni 90' il leader era la Germania che produceva poco più di un brevetto per milione di abitanti, mentre nel 2019 si posiziona seconda nel ranking considerando che produce quasi 7 brevetti per milione di abitanti. Subito dopo troviamo paesi come Giappone e Austria, paesi che hanno investito molto negli ultimi anni e che si impegnano nella R&S per trovare soluzioni tecnologiche innovative. A seguire troviamo i paesi del gruppo OECD che stanno davanti al gruppo EU 27, entrambi produttori di quasi 2 brevetti per milione di abitanti. Dopodiché vengono gli USA che alzano la media anche al gruppo OECD, producendo anche loro quasi 2 brevetti per milione di abitanti, mentre nel 1995 erano quarti nel ranking con quasi 1 brevetto per milione di abitanti. Infine, troviamo gli altri paesi Europei come Francia, Svezia, Italia, Polonia,

Spagna e Rep. Ceca che ancora sono visibilmente indietro e che sono alle prime fasi di brevettazione di tecnologie per veicoli con motori ad idrogeno.

Figura 28 Brevetti nei veicoli ad Idrogeno e Celle a Combustibile



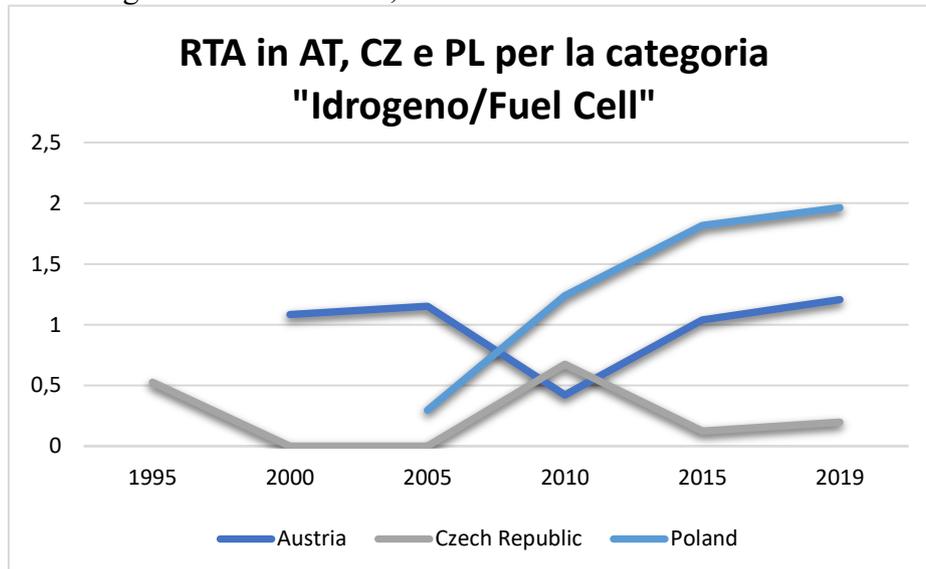
RTA

Proseguendo l'analisi con l'indice dei vantaggi tecnologici rivelati, così come per gli Hybrid and Electric vehicles, i dati della categoria per veicoli con motori ad idrogeno e celle a combustibile sono dati aggregati. Si può osservare che c'è un trend positivo e tra i vari paesi notiamo che:

- Austria, Repubblica Ceca e Polonia:** la Rep. Ceca è il paese meno specializzato dei tre in quanto presenta un valore dell'RTA prossimo allo 0. Solamente nel 2005 ha mostrato un piccolo segnale di ripresa che poi però è calato nel quinquennio dopo; caso completamente opposto rispetto a quello della Polonia che, nonostante non si disponga dei dati del decennio dal 1995 al 2005, vediamo che il trend è positivo, confermando che lo stato polacco è fortemente specializzato con un indice circa pari a 2. Tale risultato trova riscontro nel fatto che la Polonia, al momento il terzo produttore di idrogeno in tutto il mondo con 1,3 milioni di tonnellate prodotte ogni anno, ha avviato una strategia per l'idrogeno fino al 2040 che comprende vari settori, tra cui quello automobilistico. L'obiettivo è quello di brevettare nuove tecnologie per i veicoli alimentati da carburanti di questo tipo, grazie a progetti di ricerca

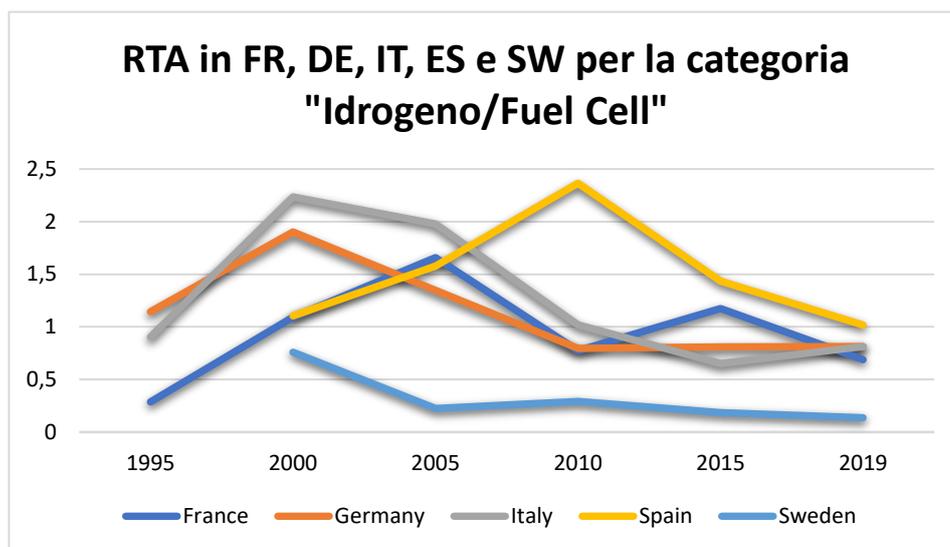
scientifiche che sono tuttora in corso. Infine, l'Austria è un paese poco specializzato che al momento ha un indice RTA poco sopra l'1 e che al momento sta decisamente puntando ai veicoli elettrici.

Figura 29 RTA – Idrogeno/Fuel Cell in AT, CZ e PL



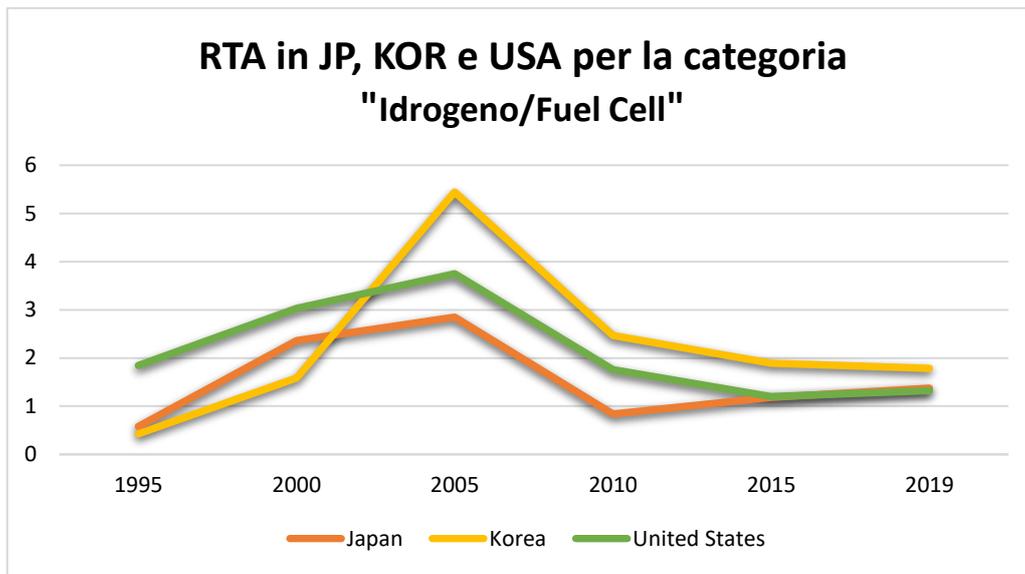
- **Francia, Germania, Italia, Spagna e Svezia:** nel caso dei principali stati europei notiamo che nessuno tra questi è specializzato nella produzione di brevetti tecnologici per veicoli ad idrogeno. Non c'è tra loro un vero e proprio leader, solo la Spagna è l'unica che ha un valore dell'RTA più alto degli altri che è pari ad 1, mentre nel 2010 aveva raggiunto il suo picco massimo con un livello di specializzazione ben più elevato dato che era sopra il 2. La Germania, nonostante BMW abbia pure da poco annunciato il nuovo modello della iX5 ad idrogeno che presto sarà in commercio sul mercato, presenta un basso grado di specializzazione che è addirittura sotto la soglia, anche se di poco. Invece, paesi come l'Italia, Svezia e Francia hanno bassi valori dell'RTA che sono sotto la soglia e quello della Svezia è persino prossimo allo zero. Un trend che al momento non sembra dare segnali di ripresa, piuttosto sembriamo in una fase di stallo considerando che le infrastrutture e lo stoccaggio sono ancora alle fasi iniziali di sviluppo e, pertanto, i paesi preferiscono specializzarsi in altre tecnologie come l'elettrico.

Figura 30 RTA – Idrogeno/Fuel Cell in FR, DE, IT, ES e SW



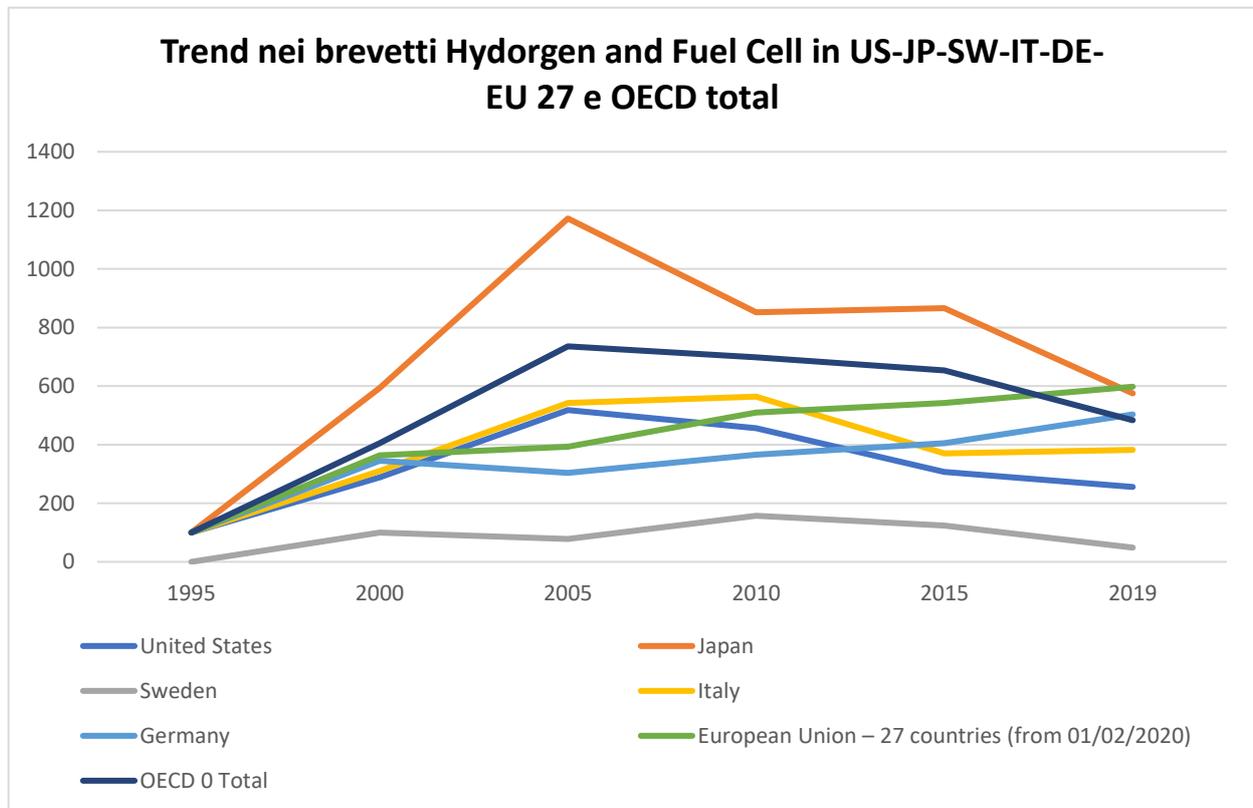
- **Giappone, Corea e Stati Uniti:** insieme alla Polonia sono i paesi più specializzati nei brevetti tecnologici per veicoli ad idrogeno. Il dato che balza maggiormente all’occhio è quello della Corea che, rispetto a USA e Giappone, è più specializzato visto l’indice RTA quasi pari a 2 che evidenzia un buon livello di specializzazione, ma che è diminuito rispetto al picco avuto nel 2005 con un RTA sopra il 5. Nonostante la quota della Corea sul totale delle domande di brevetto nell’ambito dello stoccaggio e trasporto dell’idrogeno sia inferiore rispetto all’UE, USA e Giappone, il divario è spiegato dal fatto che i coreani si stanno concentrando su investimenti tecnologici per l’utilizzo dell’idrogeno, tra cui l’implementazione nei motori. Il Giappone, invece, presenta un livello di specializzazione poco più basso che è appena poco sopra l’1, ma che vede numerosi progetti di investimento per la ricerca e specializzazione nei brevetti per questa categoria, per esempio Toyota che è la seconda casa automobilistica al mondo per la vendita di macchine alimentate ad idrogeno grazie al modello “Mirai” e che negli anni a venire dovrebbe costruire un nuovo impianto dedicato alla realizzazione di celle a combustibile in USA. Quest’ultimo sta ugualmente avviando nuovi progetti di ricerca e con la creazione di nuovi stabilimenti verranno messi in commercio più veicoli ad idrogeno e ci sarà un maggior grado di specializzazione che, nel 2019, era come quello del Giappone, cioè poco sopra la soglia di riferimento.

Figura 31 RTA – Idrogeno/Fuel Cell in JP, KOR e USA



In generale sembra ci sia stato un picco intorno al 2005 nella brevettazione per veicoli all'idrogeno, ma poi un calo della specializzazione in questi 3 paesi, che fa pensare ad un calo di interesse rispetto ad altre tecnologie alternative, come l'elettrico.

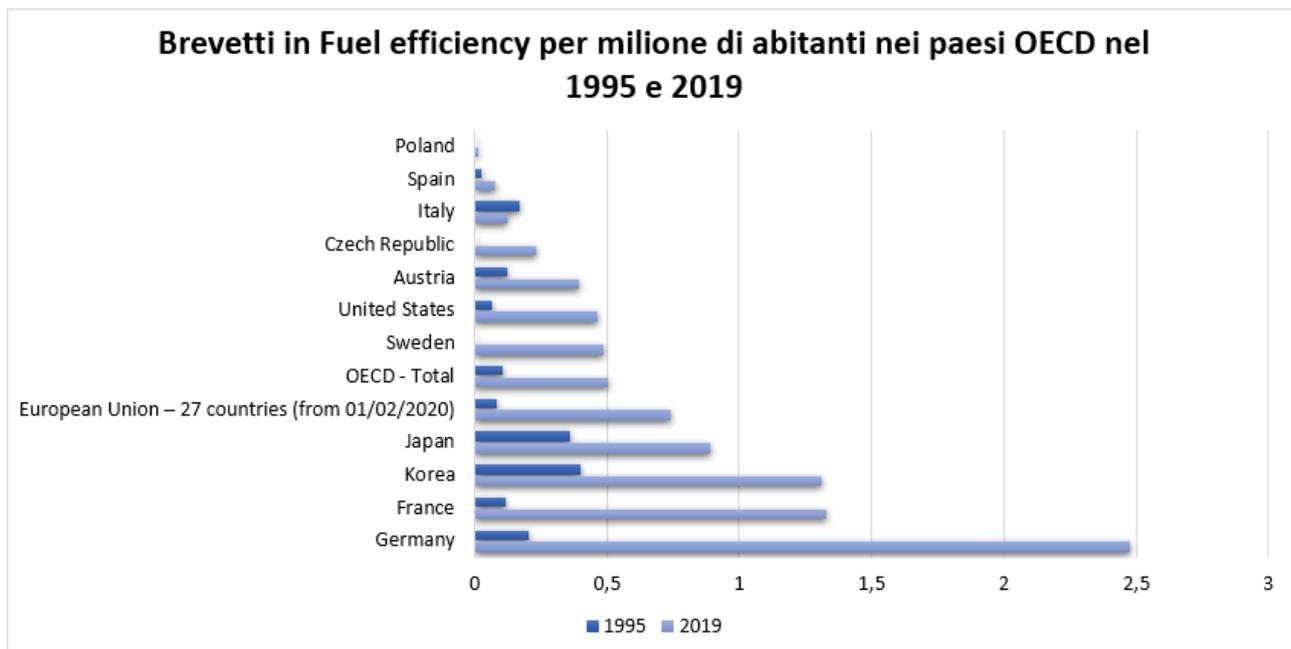
Figura 32 Trend veicoli ad Idrogeno e Celle a Combustibile in USA, JP, SW, IT, DE, EU e OECD total



3.2.6 Brevetti per la categoria Fuel Efficiency

L'ultima parte di questo capitolo è dedicata all'esame dei dati sui brevetti tecnologici del settore automobilistico per la categoria **Fuel Efficiency** che ci dice quanto un veicolo è efficiente nella fase di conversione dell'energia a partire dalla sua fonte primaria di carburante, cercando di ottenere il miglior rapporto tra utilizzo del carburante e prestazioni ottenute in termini di potenza erogata e autonomia. Al momento vengono prodotti solo pochi brevetti, si veda la Germania che, leader tra tutte, produce quasi 2,5 brevetti per milione di abitante, rispetto ai 0,2 del 1995. Dietro in seconda e terza posizione troviamo rispettivamente Francia e Corea con meno di 1,5 brevetti prodotti per milione di abitanti. I coreani dal 1995 hanno perso due posizioni, poiché nel 1995 avevano il primato con 0,4 brevetti prodotti, seguiti dal Giappone che ora si trova in quarta posizione. Per quanto riguarda i gruppi vediamo che l'EU 27 è davanti al gruppo dei paesi OECD con circa 0,7 brevetti prodotti per milione di abitante, rispetto ai 0,5. A seguire troviamo tutti gli altri paesi come la Svezia, USA e poi ancora dopo l'Italia che non è protagonista.

Figura 33 Brevetti in Fuel Efficiency



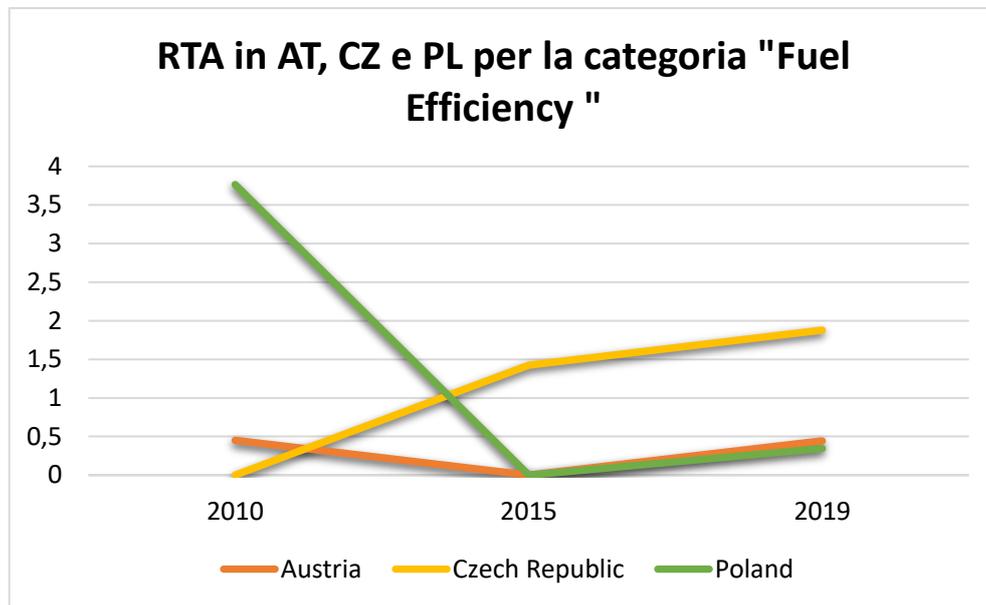
RTA

Concludiamo la nostra analisi con l'indice dei vantaggi tecnologici rivelati per categoria Fuel Efficiency e possiamo dire che:

- **Austria, Repubblica Ceca e Polonia:** a causa di una mancanza di dati non riusciamo bene a definire quale sia effettivamente l'andamento dei vari paesi, ma riusciamo comunque a vedere che, eccetto la Rep. Ceca, i valori degli indici di specializzazione di Polonia e Austria sono

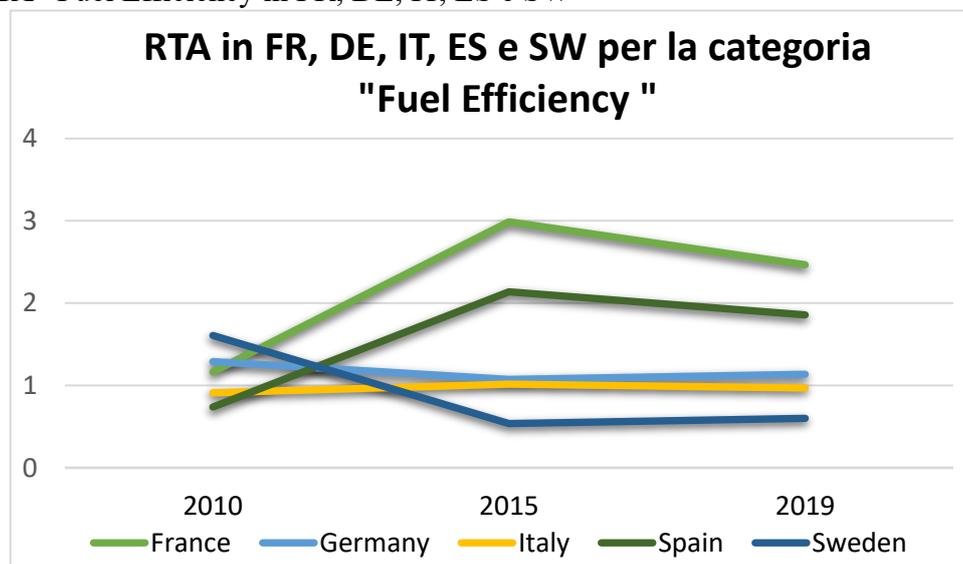
bassi ed entrambi vicino allo 0,5, mentre per gli altri il valore è sopra l'1,5 che evidenzia come il paese ceco sia altamente specializzato.

Figura 34 RTA – Fuel Efficiency in AT, CZ e PL



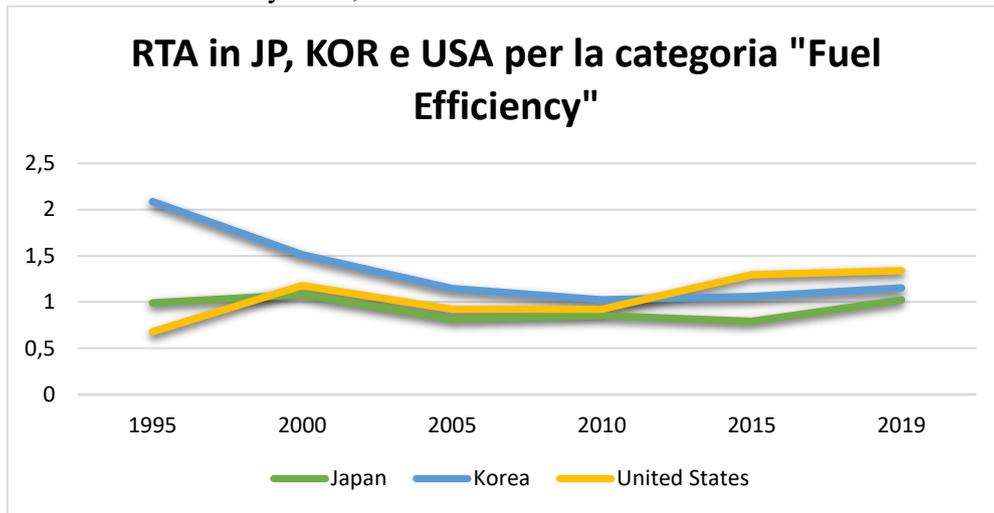
- Francia, Germania, Italia, Spagna e Svezia:** Spagna e Francia sembrano guadagnare specializzazione nella fuel efficiency dopo il 2010, la Germania rimane lievemente specializzata, mentre l'Italia lievemente despecializzata. Il dato della Germania non è in contraddizione con quello della figura precedente: in termini assoluti questo paese detiene il primato dei brevetti anche per la fuel efficiency. Il fatto che in termini relativi l'indice RTA è solo di poco sopra ad 1 significa che le attività inventive per gli altri ambiti tecnologici, soprattutto ibrido ed elettrico, sono state in termini relativi più importanti di quelle per la fuel efficiency.

Figura 35 RTA –Fuel Efficiency in FR, DE, IT, ES e SW



- **Giappone, Corea e Stati Uniti:** infine, concludiamo l'analisi con questi tre paesi e possiamo evidenziare che gli USA stanno sopra gli altri due con un indice vicino allo 1,5 che indica che sono parzialmente specializzati o che comunque si stanno specializzando nei brevetti tecnologici per la categoria Fuel Efficiency. Invece, Giappone e Corea, dove quest'ultima era avanti alle altre due nel 1995 con un indice RTA sopra il 2, presentano un basso grado di specializzazione che è vicino all'1.

Figura 36 RTA –Fuel Efficiency in JP, KOR e USA



CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di analizzare i dati relativi ai brevetti nel settore automobilistico per i paesi OECD dal 1995 fino al 2019, al fine di capire quale tra le varie tecnologie nei veicoli a motore può configurarsi come protagonista tra le auto del futuro.

I risultati ci dicono che attualmente lo scenario che potrebbe configurarsi negli anni a venire è quello di una maggiore diffusione di veicoli alimentati da carburanti green ed in particolar modo dovremmo trovare una maggiore presenza di veicoli ibridi ed elettrici rispetto alle altre tipologie di auto che saranno presenti sul mercato. Questo perché il settore automobilistico è uno tra i settori industriali maggiormente responsabile dell'inquinamento e del cambiamento climatico e che tutt'oggi è ancora fortemente dipendente dai combustibili derivanti dal petrolio, i quali vanno ad alimentare i motori a combustione interna come quelli a diesel e a benzina. Per cui, data l'emergenza climatica, da anni i governi di tutto il mondo stanno mettendo in atto una serie di politiche e di sanzioni finalizzate alla riduzione dell'inquinamento atmosferico; di conseguenza, anche il settore dell'automotive si è mosso verso nuove soluzioni tecnologiche alternative affinché siano sostenibili sia dal punto di vista economico che ambientale.

Ciò che è emerso dai dati analizzati è che la maggior parte dei paesi si sta specializzando sempre meno nei veicoli convenzionali a diesel e benzina in quanto ormai sono troppo inquinanti (non a caso il settore automobilistico è responsabile per gran parte dell'inquinamento atmosferico globale), mentre si stanno specializzando soprattutto nella ricerca di nuove soluzioni tecnologiche, nello specifico per la categoria dei veicoli elettrici. Infatti, si è potuto osservare che tra i vari paesi oggetto di studio, tutti mostrano un trend più che positivo nella specializzazione di brevetti per questa tecnologia e vede come leader/trascinatori del trend paesi come Germania, in testa in assoluto sia in Europa che nel resto del mondo, insieme a due grandi potenze mondiali che sono Corea e Giappone. Attualmente, i tedeschi sono quelli che producono più brevetti per la categoria di veicoli elettrici, circa 23 brevetti per milione di abitante, mentre i coreani e i giapponesi seguono con circa 14 e 11 brevetti per milione di abitanti. In tutti e tre i casi, i marchi automobilistici, come BMW in Germania, Toyota in Giappone e Hyundai in Corea e tanti altri, hanno attuato nuovi piani di investimento per migliorare le prestazioni delle batterie. Tutto ciò sarà reso possibile anche grazie ai nuovi stabilimenti di ricerca e produzione situati nei territori locali dove sono presenti gli stabilimenti principali, oppure attraverso stabilimenti che verranno dislocati altrove.

A differenza dei veicoli elettrici, l'attività brevettuale sulle tecnologie ad idrogeno, invece, sembra meno sviluppata, dato che paesi come Germania, Corea e Giappone, anche qui i leader, producono circa un terzo dei brevetti di questo tipo rispetto a quelli dell'altra categoria. Questo perché le auto a idrogeno presentano più problematiche rispetto ai veicoli elettrici, tanto da ostacolarne la loro

diffusione. Per esempio, i veicoli ad idrogeno hanno come problema principale quello delle infrastrutture che al momento sono quasi inesistenti e che, se realizzaste completamente da zero, richiederebbero troppo tempo e denaro. In alternativa, si è studiato a lungo un'ipotetica soluzione che prevede la riconversione delle condotte del gas per il passaggio dell'idrogeno, ma in quel caso non ci sono ancora risorse alternative in grado di compensare temporaneamente l'interruzione della fornitura del gas stesso, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo. Invece, per i veicoli elettrici esistono già delle infrastrutture più avanzate, dato che l'energia e l'elettricità sono la fonte principale su cui sta investendo maggiormente l'intera società sia in termini di risorse che di tempo, oltre al fatto che è stato ideato un piano per l'elettrificazione di tutti i settori al fine di sfruttare le energie rinnovabili e ridurre l'inquinamento. In tal caso la ricarica e il rifornimento del veicolo elettrico sarebbe molto più veloce e pratica rispetto a quelle per veicoli ad idrogeno, dato che presentano delle infrastrutture sottosviluppate. L'altro problema è relativo ai costi di produzione e di vendita, dato che un veicolo elettrico verrebbe a costare meno di un veicolo ad idrogeno per il semplice motivo che alcune componenti fisico-tecniche dei veicoli ad idrogeno sono molto costose, soprattutto nei motori (secondo degli studi, in realtà, potrebbero essere riconvertite le componenti dei motori convenzionali a diesel o benzina e riutilizzate nei veicoli ad idrogeno, ma solo in parte), mentre per le auto elettriche sono state già fatte numerose scoperte che hanno permesso di abbattere i costi di produzione sia delle batterie che dell'intero veicolo. Nel caso delle batterie, è sufficiente vedere che gli stabilimenti produttivi di batterie sono aumentati in tutto il mondo e che più paesi si stanno specializzando nella produzione; inoltre, dato che siamo in una fase di transizione, le preferenze dei consumatori stanno gradualmente cambiando e più veicoli elettrici vengono venduti, più i costi di produzione/vendita diminuiscono. Questo, di conseguenza, si rifletterà positivamente anche sulle prestazioni del veicolo che migliorerà ulteriormente l'autonomia e i consumi nel corso del tempo rispetto alle auto ad idrogeno che, momentaneamente, hanno un'autonomia inferiore e con prestazioni ben lontane dai veicoli convenzionali. Pertanto, il consumatore di fronte ad uno scenario di questo tipo, una volta che anche le auto convenzionali verranno tolte dal mercato, sarà maggiormente incentivato a comprare le auto elettriche poiché più efficienti in termini di costi, autonomia e sistemi di ricarica/rifornimento. In conclusione, quindi, possiamo dire che davanti a questo grande cambiamento, tra le varie soluzioni tecnologiche presenti nel settore automobilistico è probabile che i veicoli elettrici siano la soluzione tecnologica più efficiente, in grado di indirizzare il progresso tecnologico dell'auto lungo questa specifica traiettoria tecnologica.

BIBLIOGRAFIA

- Alagumalai A., “Internal combustion engines: Progress and prospects”, 2014
- Anderson P., Tushman M.L., “Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change”, 1990
- Benner M.J., “Radical and Incremental Technical Change”, 2018
- Bouza M., Ulli-Beer S., Dietrich P., Wokaun A., “Comparison of Possible Transformation Processes in the Automobile Industry”, 2009
- Cunanan C., Tran MK., Lee Y., Kwok S., Leung V., Flower M., “A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles”, 2021
- Demirbas A., “Future Fuels for Internal Combustion Engines”, 2010
- De Jong S., Hoefnagels R., Wetterlund E., Pettersson K., Faaij A., Junginger M., “Cost optimization of biofuel production – The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations”, 2017
- Dosi G., Nelson R., “Technological Paradigms and Technological Trajectories”, 2018
- Grodal S., Krabbe A., Zunino. M., “The evolution of technology”, 2021
- Hadjilambrinos C., “Reexamining the Automobile’s Past: What Were the Critical Factors That Determined the Emergence of the Internal Combustion Engine as the Dominant Automotive Technology?”, 2021
- Khawaja A.S., Zaheer M.A., Ali Ahmad c, Asif Ali Mirani d, Zulfiqa A., “Advances in limitations and opportunities of clean biofuel production to promote decarbonization”, 2023
- Malerba F., Tunzelmann N., Nightingale P., Metcalfe S., “Technological paradigms: past, present and future”, 2008
- Manoharan Y, Hosseini S.E., Butler B., Alzahrani H., Senior B.T.F., Ashuri T. and Krohn J., “Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect”, 2019
- Nelson R., “Factors affecting the power of technological paradigms”, 2008
- Ogunkunle O., Ahmed N., “A review of global current scenario of biodiesel adoption and combustion in vehicular diesel engines”, 2019
- Olabi A., Wilberforce T., Abdelkareem M.A., “Fuel cell application in the automotive industry and future perspective”
- Pardi T., “Fourth industrial revolution concepts in the automotive sector: performativity, work and employment”, 2019
- Pavlinek P., “The Role of Foreign Direct Investment in the Privatisation and Restructuring of the Czech Motor Industry”, 2010
- Popa I.L., Preda G., Boldea M., “A THEORETICAL APPROACH OF THE CONCEPT OF INNOVATION”, 2010

Rajiu S., “THE HISTORY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE”, 2003

Reijnders L., “Fuels of the future”, 2008

Rietmann N., Hügler B., Lieven T., “Forecasting the trajectory of electric vehicle sales and the consequences for worldwide CO2 emissions”, 2020

Rizzi F., Annunziata E., Liberati G., Frey M., “Technological trajectories in the automotive industry: are hydrogen technologies still a possibility?”, 2014

Room J., “The car and fuel of the future”, 2006

Rugraff E., “Foreign Direct Investment (FDI) and Supplier-Oriented Upgrading in the Czech Motor Vehicle Industry”, 2009

Ruth J.C., Stephanopoulos G., “Synthetic fuels: what are they and where do they come from?”, 2023

Salvi B.L., Subramanian K.A., Panwar N.L., “Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review”, 2013

Schulze A., MacDuffie J.P., Täube F.A., “Introduction: knowledge generation and innovation diffusion in the global automotive industry—change and stability during turbulent times”, 2015

Sinigaglia E., Martins M., Siluk J., “Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis”, 2022

Teece D.J., “Dosi’s technological paradigms and trajectories: insights for economics and management”, 2008

Teece D.J., Leih S., “Science and Innovation”, 2018

Van de Hoed R., “Sources of radical technological innovation: the emergence of fuel cell technology in the automotive industry”, 2007

Zapata C., Nieuwenhuis P., “Exploring innovation in the automotive industry: new technologies for cleaner cars”, 2010

<https://innovationorigins.com/en/can-biofuels-and-e-fuels-be-clean-alternatives-to-petrol/#:~:text=Biofuels%20are%20biomass%2C%20cooking%20oil%2C%20or%20animal%20fat%20s-derived,hydrogen%20from%20water%20and%20then%20using%20carbon%20dioxide.>

<https://www.motori.it/guide/2712785/auto-ibride-differenze.html>

<https://news.energysage.com/pros-and-cons-of-hybrid-cars/#:~:text=Pros%20and%20cons%20of%20hybrid%20cars%201%20Pros,4%20Power%20your%20commute%20with%20the%20sun%20>

<https://www.fleetmagazine.com/il-futuro-dellautomotive-e-in-austria/>

<https://www.statista.com/topics/10356/automotive-industry-in-austria/#topicOverview>

<https://insideevs.it/news/384773/batterie-auto-elettriche-asia/#:~:text=I%20principali%20produttori%20di%20accumulatori%20coreani%20sono%20LG,vicino%20a%20quello%20Tesla%20a%20Shanghai%2C%20in%20Cina.>

<https://motori.quotidiano.net/varie/curiosita/hyundai-nuova-fabbrica-veicoli-elettrici-corea-entro-2025.htm>

<https://insideevs.it/news/446208/brevetti-batterie-auto-elettriche-giappone-cina-europa/>

<https://hydrogen-central.com/korea-needs-increase-patent-applications-hydrogen-storage-transportation/#:~:text=Korea%E2%80%99s%20share%20of%20global%20patent%20applications%20in%20the,Korea%20International%20Trade%20Association%20%28KITA%29%20on%20Aug.%202015.>

<https://hydrogen-central.com/polish-hydrogen-strategy/>