

POLITICA E ECONOMIA



Il processo di diffusione delle diverse tecnologie di propulsione delle auto in Europa

The diffusion process of the various car propulsion technologies in Europe

Paolo FERRARI

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2023.ART.1>)

Sommario - Si è verificata recentemente in Europa, essenzialmente come conseguenza dell'epidemia di COVID, una elevata riduzione delle immatricolazioni delle automobili, accompagnata da una profonda trasformazione del processo evolutivo della ripartizione delle immatricolazioni fra i tre tipi di auto dotati di diversi sistemi di propulsione offerti sul mercato. Si è verificato un crollo nella proporzione delle immatricolazioni delle auto con motore a combustione interna (MCI), mentre si è avuto una notevole spinta alla produzione, e quindi alle vendite di quelle elettriche, a batteria (BEV) e ibride (HEV e PHEV). Utilizzando un modello dinamico di competizione fra i tre tipi di auto, questo articolo spiega che questo processo evolutivo tende nei prossimi anni ad una situazione in cui il mercato delle auto in Europa sarà dominato dalle auto ibride, con le auto MCI e BEV in ruoli marginali.

1. Introduzione

Si è verificata recentemente in Europa una improvvisa ed elevata riduzione delle immatricolazioni delle automobili. Dai dati registrati da ACEA [1] risulta che si è passati da 15.78 milioni di auto immatricolate in Europa nel 2019 a 10.801 milioni nel 2022. Questo crollo delle vendite di auto è dovuto a numerosi fattori, prevalentemente legati all'epidemia di COVID [19]. Si è verificato da un lato una diminuzione nell'offerta di auto, dovuta al crollo della produzione causata dalla chiusura delle fabbriche [11] durante i periodi di *lockdown* e alla difficoltà di approvvigionamento delle materie prime [3], dall'altro lato si è verificata una riduzione della domanda, perché molti consumatori, di fronte all'incertezza degli anni a venire hanno preferito rinviare o annullare l'acquisto di un'auto [19] o utilizzare sistemi di trasporto alternativi.

Contemporaneamente a questa riduzione nella vendita di auto si è verificato un altrettanto drammatico crollo della proporzione di immatricolazioni delle auto con motore a combustione interna (MCI), a benzina e Diesel. ACEA [2] ha stimato che questa proporzione si è ridotta da 0.941 nel 2018 a 0.556 nel 2022: questa riduzione ha colpito in particolare la proporzione di immatricolazioni di auto Diesel, passata da 0.367 nel 2018 a 0.164 nel 2022. Questa riduzione è dovuta a numerose cause: dato che le

Summary - Essentially as a consequence of the COVID epidemic, there has been recently a large decrease in car registrations in Europe, accompanied by a substantial change in the evolution process of the split of car registrations between the three types of cars equipped with different propulsion systems that are offered on the market. There has been a fall in the proportion of the cars equipped with internal combustion engine (ICE), while there has been a boost to the production, and thus a push for electric car sales, both battery powered (BEV) and hybrid (HEV and PHEV). By using a dynamic model of competition between these three types of cars, this paper explains that this evolution process tends to a situation in which the car market in Europe will be dominated by hybrid cars, with ICE cars and BEV cars in marginal roles.

1. Introduction

A sudden and large decrease in car registrations occurred recently in Europe. The data collected by ACEA [1] show that it has gone from 15,78 million cars registered in Europe in 2019 to 10,801 million in 2022. This fall in the car sell is due to many factors, essentially related to the COVID epidemic [19]. On the one hand there has been a decrease in the supply of cars, due to the fall in the production caused by the closure of factories [11] during the lockdown periods and to the difficulty in the procurement of raw materials, on the other hand there has been a reduction in demand, as many consumers faced with the uncertainty of the years to come have preferred to postpone or to cancel the purchase of a car [19], or to use alternative transport systems.

Simultaneously with this reduction of car sell there has been another dramatic fall in the proportion of the registrations of cars equipped with gasoline and diesel internal combustion engine (ICE). ACEA [2] has estimated that this proportion was reduced from 0.94 in 2018 to 0.556 in 2022: this reduction has affected in particular the proportion of registrations of Diesel cars, which has gone from 0.367 in 2018 to 0.164 in 2022. This reduction is due to many causes; since the cars sold in Europe until 2018 were mainly ICE cars, the fall in registrations of the latter is a consequence of the general fall in the car supply; on the other

POLITICA E ECONOMIA

auto vendute in Europa fino al 2018 erano prevalentemente auto MCI, il crollo nella immatricolazione di queste ultime è conseguenza del generale crollo dell'offerta di auto; d'altra parte si può ritenere che esso sia dovuto anche alla crescente consapevolezza dei cittadini europei circa il danno ambientale causato dai veicoli MCI, e alle restrizioni imposte dalle Pubbliche Amministrazioni, culminate con il bando a partire dal 2035 alle vendite di auto MCI nei territori della UE [7]. Contemporaneamente si è verificato un incremento della elettrificazione delle auto: la proporzione delle immatricolazioni delle auto elettriche è passata da 0.059 nel 2018 a 0.444 nel 2022 [2]. Una ricerca [16] svolta per conoscere l'effetto del COVID sull'industria automobilistica dell'Europa Centro-Orientale, condotta attraverso un'analisi delle decisioni aziendali, ha mostrato che la crisi indotta dal COVID ha rappresentato una opportunità per gli imprenditori dell'industria automobilistica per un avanzamento nella elettrificazione.

Le auto elettriche prodotte dall'industria ed immesse sul mercato sono di due tipi [10]: auto a batteria (BEV) e auto ibride (HEV). Nelle prime [18] il sistema di propulsione è costituito da un motore elettrico alimentato da una batteria che, oltre a poter essere caricata alle stazioni di ricarica è anche caricata, nelle fasi di marcia in rallentamento e nei tratti in discesa, attraverso il sistema del *regenerating braking* [12][21], che trasforma in energia elettrica l'energia cinetica che nei veicoli tradizionali verrebbe dissipata in calore attraverso i freni. Le auto HEV [17] sono dotate di un motore elettrico e di un motore a combustione interna. Quest'ultimo è alimentato dal carburante contenuto in un serbatoio come nelle auto MCI. Il motore elettrico è alimentato da una batteria caricata da un generatore collegato col motore a combustione interna. In alcuni tipi di ibridi, PHEV, la batteria può essere caricata anche alle stazioni di ricarica, come nelle auto BEV. I motori elettrico e a combustione interna sono in genere accoppiati in parallelo. Questa tecnologia permette di utilizzare ciascuno dei due motori separatamente o contemporaneamente in modo da ottenere, secondo le caratteristiche del percorso, il più alto grado di efficienza. Inoltre le auto HEV adottano, come le BEV, il *regenerating braking* durante i rallentamenti e nei tratti in discesa. Tenendo poi conto del fatto che il motore elettrico assiste il motore termico nelle fasi di accelerazione, si riesce ad ottenere una riduzione della potenza del motore termico ed un aumento dell'efficienza complessiva del propulsore. Questo insieme di caratteristiche rende le auto HEV molto più efficienti e molto meno inquinanti delle auto MCI. D'altra parte esse non hanno bisogno, a differenza delle BEV, di una rete di stazioni di ricarica, di cui le auto PHEV si servono solo quando risulta conveniente.

Alcuni autori [13] hanno stimato che, considerando tutti gli aspetti del ciclo di vita del veicolo [20] - cioè la produzione delle materie prime, la manifattura dei componenti, la manutenzione ed il fine vita - le auto PHEV, considerando il mix di energia utilizzato in Europa, sono meno inquinanti delle auto BEV. Di tutti questi fatti le per-

hand it is possible to think that it is due also to growing awareness of European citizens about the environmental damage caused by ICE cars, and to the restrictions imposed by Public Administrations, culminating with the ban, starting from 2035, on the sale of ICE cars in the EU territories [7]. Simultaneously an increase in car electrification occurred: the proportion of registrations of electric cars has gone from 0.059 in 2018 to 0.444 in 2022. A research carried out to know the effect of COVID on the car industry of Central-Eastern Europe, conducted through an analysis of business decisions, has shown that the crisis induced by COVID represented an opportunity for the entrepreneurs in the car industry for an advancement in electrification.

Electric cars produced by industry and placed on the market are of two types [10]: battery powered cars (BEV) and hybrid cars (HEV). The propulsion system of the first [18] is constituted by an electric motor powered by a battery which, as well as being able to be charged at charging stations, is also charged during speed slowdowns and when driving downhill through the regeneration braking system [12][21], which converts into electricity the kinetic energy, which in the traditional cars is dissipated in heat through the brakes. HEV cars [17] are equipped with an electric motor and with an internal combustion engine. The latter is powered by fuel contained in a tank as in ICE cars. The electric motor is powered by a battery charged by a generator connected with the internal combustion engine. In some types of hybrid cars, PHEV, the battery can be charged also at charging stations, as in BEV cars. The electric motor and the internal combustion engine are generally in parallel configuration. This technology makes it possible to use each of the two motors separately or simultaneously, so as to obtain, according the characteristics of the route, the highest degree of efficiency. Moreover HEV cars adopt, as BEV cars, the regeneration braking during speed slowdowns and when driving downhill. Then, taking into account that the electric motor assists the combustion engine in the acceleration phases, it is possible to obtain a reduction in the power of the combustion engine and an increase in overall efficiency of the powertrain. This set of characteristics makes HEV cars much more efficient and much less polluting than the ICE cars. On the other hand they don't need, unlike BEV cars, a network of charging stations, which are used by PHEV cars only when it is convenient.

Some authors [13] have estimated that, considering all the aspects of the vehicle life cycle [20] - i.e. the raw material production, the manufacture of components, the maintenance and the life end - the PHEV cars, considering the mix of energy used in Europe, are less polluting than the BEV cars. All these facts are taken into account by individuals when they express a judgement on HEV cars, whose proportion of registration has gone in fact from 0.049 in 2018 to 0.32 in 2022 [2].

As there is strong pressure, even if not shared by everyone, to obtain a postponement of the ban on sale of ICE cars in EU, it is reasonable to believe that in the next years there will be in Europe a competition between three types of cars

POLITICA E ECONOMIA

sone tengono conto quando esprimono un giudizio sulle auto ibride, la cui proporzione di immatricolazioni in effetti è passata da 0.049 nel 2018 a 0.32 nel 2022 [2].

Poiché vi sono forti pressioni, anche se non del tutto condivise, per ottenere un rinvio del bando della UE alle vendite di auto MCI, è ragionevole ritenere che nei prossimi anni si verificherà in Europa una competizione fra tre tipi di auto offerti sul mercato: auto MCI, elettriche a batteria ed ibride. Questa competizione darà luogo ad una evoluzione nel tempo delle proporzioni di vendite, la quale dipenderà dalle strategie dei costruttori di auto, dalle politiche delle Pubbliche Amministrazioni e dall'atteggiamento degli utenti. L'esito di questa evoluzione potrà essere un assetto di equilibrio in cui tutti e tre i tipi di auto continueranno ad essere presenti, con proporzioni diverse, sul mercato, ovvero una situazione in cui, come agli inizi del secolo scorso, un tipo di auto assumerà una posizione dominante, lasciando agli altri un ruolo di nicchia. Non è possibile conoscere quale di questi due eventi si verificherà, poiché esistono fattori imprevedibili che influenzano l'evoluzione. È tuttavia possibile conoscere, sulla base dei dati disponibili relativi al recente passato, una stima della linea di tendenza delle proporzioni di vendite dei tre tipi di auto relativa ad un prossimo futuro. La ricerca di questa linea di tendenza è l'obiettivo di questo articolo.

Esso utilizza un modello il quale suppone che un individuo che intende valutare i diversi tipi e modelli di auto offerti sul mercato organizzi le sue valutazioni attribuendo un numero a ciascun tipo (MCI, BEV, HEV) e modello di auto, con lo stesso criterio per tutti gli individui che fanno queste valutazioni: più alto è il numero, meno preferibile è l'auto. L'individuo pone quindi a confronto i tre modelli a cui ha attribuito il minimo numero in ciascuno degli insiemi di modelli di auto MCI, BEV, HEV, e ritiene preferibile il tipo e il modello di auto a cui ha attribuito il numero minore. Questi tre numeri minimi sono le determinazioni di tre variabili aleatorie perché le valutazioni variano in maniera casuale nella popolazione dei vari individui dipendendo dalle caratteristiche psicologiche e socio-economiche di ciascuno, e anche dal modo con cui l'auto viene usata (per esempio lunghezza e frequenza dei viaggi). Definiamo le medie di queste tre variabili costo dell'auto MCI, BEV, HEV rispettivamente.

E' possibile che gli individui che attribuiscono un numero a un modello di uno di questi tre tipi di auto si lascino guidare dal giudizio di coloro che lo hanno comprato e lo stanno usando. Se in una certa epoca il numero di immatricolazioni di questo tipo e modello di auto è elevato essi ritengono che il giudizio dei suoi compratori è molto favorevole, ed attribuiscono all'auto un numero molto basso. Da ciò segue che il costo del tipo di auto è una funzione descendente della sua diffusione.

E' altresì possibile invece che l'attribuzione del costo a uno dei tre tipi di auto non tenga conto della sua diffusione, ma piuttosto delle indicazioni dei costruttori e dei suggerimenti della pubblicità. In questo caso il costo è una

placed on the market: ICE cars, electric battery cars and hybrid cars. This competition will give rise to an evolution over time of sales proportions, which will depend on the strategies of car manufacturers, by the policies of Public Administrations and by the attitudes of users. The result of this evolution might be an equilibrium configuration in which all the three types of cars will continue to be present, with different proportions, on the market, or a situation in which, as in the last century, a type of car will assume a dominant position, leaving to the others a niche role. It is not possible to know which of these events will occur, as there are unpredictable factors that affect the evolution. However it is possible to obtain, on the basis of available data relating to the recent past, an estimate of the trend of the sales proportions of the three types of cars in the next future. The research of this trend is the purpose of this paper.

It uses a model which supposes that an individual who aims to evaluate the various types and model of cars offered on the market organizes his evaluations by assigning a number, with the same criterion for all individuals that make this evaluation, to each type (ICE, BEV, HEV) and model of car: the higher the numbers is, the less preferable the car is. Then the individual compares the three models of cars to which he assigned the minimum number in each of the sets of the models of cars ICE, BEV, HEV, and considers preferable the type and model of car to which he assigned the minimum number. These three minimum numbers are the determinations of three random variables, as the evaluations vary in a random manner in the populations of the individuals, depending on the psychological and socio-economic characteristics of each of them, and also on the way the car is used (e.g. length and frequency of trips). We define the averages of these three variables cost of ICE, BEV, HEV car respectively.

It is possible that the individuals who assign a number to a model of one of these types of cars are driven by the judgment of those who bought it and use it. If in a certain epoch the number of registrations of this type and model of car is high, they believe that the judgment of its buyers is very favourable, and assign to the car a very low number. It follows that the cost of the type of car is a decreasing function of its diffusion.

It is also possible that the assignment of the cost to each of the types of cars does not take into account its diffusion, but rather the indications of manufacturers and the suggestions of advertising. In this case the cost is a constant.

By knowing the proportions of registrations of each of the three types of cars occurred in a given time interval, for instance in a given sequence of years, it is possible, by using the model mentioned above, to estimate the cost functions, i.e. the relations between cost and number of registrations for each type of car. By supposing that the cost functions, which are influenced by the strategies of the car manufacturers and by the policies of Public Administrations, remain unchanged for a certain time interval beyond the sequence considered, by using the model it is possible to estimate the evolution of the registrations of the three types of cars dur-

POLITICA E ECONOMIA

costante.

Conoscendo le proporzioni di immatricolazioni di ciascuno dei tre tipi di auto verificatesi in un certo intervallo temporale, per esempio in una certa sequenza di anni, utilizzando il modello citato sopra, è possibile stimare le funzioni di costo, cioè le relazioni fra costo e numero annuo di immatricolazioni per ciascun tipo di auto. Supponendo che le funzioni di costo, le quali sono influenzate dalle strategie dei costruttori di auto e dalle politiche delle Pubbliche Amministrazioni, si mantengano inalterate per un certo intervallo temporale oltre la sequenza considerata, utilizzando il modello è possibile stimare l'evoluzione delle immatricolazioni dei tre tipi di auto nel corso di tale intervallo. Lo scopo di questo articolo è la stima di tale evoluzione in Europa negli anni successivi al 2022, conoscendo le proporzioni di immatricolazioni per ciascun tipo di auto stimate nei cinque anni fra il 2018 e il 2022.

L'articolo è organizzato come segue. Nelle Sezione 2 è presentato il modello, il quale è applicato nella Sezione 3 allo studio della evoluzione delle immatricolazioni dei tre tipi di auto in Europa negli anni successivi al 2022, utilizzando i dati sui numeri totali di immatricolazioni di auto in Europa raccolti dall'Associazione Europea dei Costruttori di Auto (ACEA) [1] e quelli sulle proporzioni di immatricolazioni stimati sempre da ACEA [2] relative agli anni 2018-2022. Infine nella Sezione 4 è presentato un breve riassunto dei punti principali e sono esposte alcune considerazioni conclusive.

2. Un modello d'competizione fra tre tipi di auto

Consideriamo un territorio (nel nostro caso l'Europa) in cui tre tipi di auto (nel nostro caso MCI, BEV, HEV), vengono offerti sul mercato. Il modello studia l'evoluzione della ripartizione delle immatricolazioni fra questi tre tipi di auto durante una sequenza Σ di intervalli temporali unitari (per es. un anno), i cui numeri d'ordine individuano la sequenza dei tempi t . Sia T^t il numero di auto immatricolate in un anno al tempo t : etichettando con **1** le auto MCI, con **2** le auto BEV e con **3** le auto HEV, siano x^t_1 , x^t_2 e x^t_3 le proporzioni di T^t composte rispettivamente da auto MCI, BEV e HEV, per cui i corrispondenti numeri di immatricolazioni al tempo t sono, $x^t_1 T^t$, $x^t_2 T^t$ e $x^t_3 T^t$.

Siano Θ_1 , Θ_2 e Θ_3 gli insiemi dei modelli di auto MCI, BEV e HEV offerti sul mercato, e siano m , n , e r i numeri degli elementi di Θ_1 , Θ_2 e Θ_3 , rispettivamente. Come si è visto nella Sezione 1, un individuo che confronta fra loro i vari tipi e modelli di auto attribuisce a ciascun elemento dei tre insiemi un numero, che dipende dalle sue valutazioni su vantaggi e svantaggi di ciascun tipo e modello di auto: quanto meno favorevoli sono le valutazioni tanto più alto è il numero. Vantaggi e svantaggi dipendono dalle caratteristiche delle auto - sulle quali incidono le strategie dei costruttori - e dalle limitazioni imposte al loro uso - su cui incidono le politiche delle Pubbliche Amministrazioni. Un notevole svantaggio è stato rappresentato negli anni recenti dalla difficoltà di procurarsi l'auto desiderata

ing this interval. The purpose of this paper is the estimate of this evolution in Europe in the years after 2022 by knowing the proportions of the registrations for each type of car estimated in the five years between 2018 and 2022.

The paper is organized as follows. Section 2 presents the model, which is applied in Section 3 to the study of the evolution of the registrations of the three types of cars in Europe in the years after 2022, by using the data of the total numbers of car registrations in Europe collected by ACEA [1] and those of the proportions of the registrations relative to years 2018-2022 estimated also by ACEA [2]. Lastly a brief summary of the main points is presented and some conclusions are put forward in Section 4.

2. A model of competition between three types of cars.

Consider a territory (in our case Europe) in which three types of cars (in our case ICE, BEV, HEV) are offered on the market. The model studies the evolution of the split of registrations between these three types of cars during a sequence Σ of unit time intervals (e.g. one year), whose order numbers identify the sequence of times t . Let T^t be the number of cars registered at time t : labelling with **1** the ICE cars, with **2** the BEV cars and with **3** the HEV cars, let x^t_1 , x^t_2 and x^t_3 be the proportions of T^t composed by ICE, BEV, HEV cars respectively, so that the corresponding numbers of registrations at time t are $x^t_1 T^t$, $x^t_2 T^t$ and $x^t_3 T^t$.

Let Θ_1 , Θ_2 and Θ_3 be the sets of the models of ICE, BEV, HEV cars offered on the market, and let m , n , and r be the numbers of the elements of Θ_1 , Θ_2 and Θ_3 , respectively. As we have seen in Section 1, an individual, who compares with each other the various types and models of cars, assigns to each element of the three sets a number, which depends on his evaluations on advantages and disadvantages of each type and model of car: the less favourable the evaluations are, the higher the number is. Advantages and disadvantages depend on the characteristics of cars - which the strategies of manufacturers affect - and on the limitations imposed on their use - which the policies of Public Administrations affect. A notable disadvantage has been represented in recent years by the difficulty in obtaining the desired car, because of the sharp reduction in cars for sale due to the fall in production caused by the closure of factories during the periods of lockdown and by the difficulty of supply of raw materials, as said before. The evaluation of advantages and disadvantages depends on the psychological and socio-economic characteristics of each individual, and also on the way car is used, as said before. As the characteristics are dispersed in the population of individuals that make their evaluations, the number assigned to each element of the three sets is a determination of a random variable. Let $a^t_i - \eta^t_i$, $i=1, \dots, m$, $b^t_j - \eta^t_j$, $j=1, \dots, n$, $c^t_k - \eta^t_k$, $k=1, \dots, r$, be the numbers assigned to the elements of Θ_1 , Θ_2 and Θ_3 , respectively, where a^t_i is the average of the numbers assigned to the model i of ICE car, b^t_j is the average of the numbers assigned to the model j of BEV car, c^t_k is the aver-

POLITICA E ECONOMIA

a causa della netta riduzione del numero di auto in vendita dovuta al crollo della produzione causata dalla chiusura delle fabbriche durante i periodi di *lockdown* e alla difficoltà di approvvigionamento delle materie prime, come si è detto in precedenza. La valutazione di vantaggi e svantaggi dipende dalle caratteristiche psicologiche e socio economiche di ciascun individuo, e anche dal modo con cui l'auto viene usata, come si detto in precedenza. Poiché queste caratteristiche sono disperse nella popolazione degli individui che fanno le loro valutazioni, il numero assegnato a ciascun elemento dei tre insiemi è la determinazione di una variabile aleatoria. Siano $a_i^t - \eta_i^t$, $i=1, \dots, m$, $b_j^t - \eta_j^t$, $j=1, \dots, n$, $c_k^t - \eta_k^t$, $k=1, \dots, r$, i numeri attribuiti agli elementi di Θ^1 , Θ^2 e Θ , rispettivamente, dove a_i^t è la media dei numeri attribuiti al modello i di auto MCI, b_j^t è la media dei numeri attribuiti al modello j di auto BEV, c_k^t è la media dei numeri attribuiti al modello k di auto HEV, mentre η_i^t , η_j^t , e η_k^t , sono variabili aleatorie identicamente e indipendentemente distribuite con media nulla.

Per esprimere la sua preferenza un individuo pone a confronto l'elemento di ciascuno dei tre insiemi a cui ha attribuito il minimo numero tra gli elementi dell'insieme con i due elementi degli altri due insiemi a cui ha attribuito allo stesso modo il minimo numero. Ritiene quindi preferibile fra i tre tipi di auto quello identificato dall'insieme a cui appartiene l'elemento a cui ha attribuito il minore di questi tre numeri minimi. Quindi la probabilità che al tempo t venga ritenuto preferibile il tipo di auto 1 è data da:

$$P_1^t = P\left\{\max_{\forall i}(-a_i^t + \eta_i^t) > \left[\max_{\forall j}(-b_j^t + \eta_j^t), \max_{\forall k}(-c_k^t + \eta_k^t)\right]\right\}: \quad (1)$$

Supponendo che η_i^t , η_j^t , e η_k^t , siano variabili aleatorie di Gumbel identicamente e indipendentemente distribuite, con media nulla e parametro di scala uguale a 1, anche $\max_{\forall i}(-a_i^t + \eta_i^t)$, $\max_{\forall j}(-b_j^t + \eta_j^t)$ e $\max_{\forall k}(-c_k^t + \eta_k^t)$ sono variabili aleatorie di Gumbel con parametro di scala uguale a 1, le cui media sono $\ln \sum_{\forall i} \exp(-a_i^t)$, $\ln \sum_{\forall j} \exp(-b_j^t)$ e $\ln \sum_{\forall k} \exp(-c_k^t)$

Chiamiamo $C_1^t = -\ln \sum_{\forall i} \exp(-a_i^t)$, $C_2^t = -\ln \sum_{\forall j} \exp(-b_j^t)$ e $C_3^t = -\ln \sum_{\forall k} \exp(-c_k^t)$ costo al tempo t delle auto MCI, BEV e HEV rispettivamente, per cui la (1) si scrive come segue:

$$P_1^t = P\left\{(-C_1^t + \varepsilon_1^t) > \left[(-C_2^t + \varepsilon_2^t), (-C_3^t + \varepsilon_3^t)\right]\right\} \quad (2)$$

dove ε_1^t , ε_2^t , e ε_3^t sono variabili di Gumbel identicamente e indipendentemente distribuite con media nulla e parametro di scala uguale a 1.

La (2) conduce al modello *logit multinomiale* [4], per cui si ha:

$$P_1^t = \frac{\exp(-C_1^t)}{\exp(-C_1^t) + \exp(-C_2^t) + \exp(-C_3^t)} \quad (3)$$

La stessa soluzione vale per gli altri due tipi di auto per cui la probabilità che venga ritenuto preferibile il tipo r di auto, $r = 1, 2, 3$, si scrive:

age of the numbers assigned to the model k of HEV car, while η_i^t , η_j^t , and η_k^t , are random variables identically and independently distributed with zero mean.

To express his preference an individual compares the element of each of the three sets to which he attributed the minimum number among the elements of the set with the two elements of the other two sets to which he attributed in the same way the minimum number. Then he considers preferable between the three types of cars that identified by the set to which the element to which he attributed the minimum number belongs. Thus the probability that at time t the type of car 1 is considered preferable is given by:

$$P_1^t = P\left\{\max_{\forall i}(-a_i^t + \eta_i^t) > \left[\max_{\forall j}(-b_j^t + \eta_j^t), \max_{\forall k}(-c_k^t + \eta_k^t)\right]\right\}: \quad (1)$$

By supposing that η_i^t , η_j^t , and η_k^t , are Gumbel random variables identically and independently distributed, with zero mean and scale parameter equal to 1, also $\max_{\forall i}(-a_i^t + \eta_i^t)$,

$\max_{\forall j}(-b_j^t + \eta_j^t)$ and $\max_{\forall k}(-c_k^t + \eta_k^t)$ are Gumbel random vari-

ables with scale parameter equal to 1, whose averages are $\ln \sum_{\forall i} \exp(-a_i^t)$, $\ln \sum_{\forall j} \exp(-b_j^t)$ and $\ln \sum_{\forall k} \exp(-c_k^t)$. We name

$$C_1^t = -\ln \sum_{\forall i} \exp(-a_i^t), C_2^t = -\ln \sum_{\forall j} \exp(-b_j^t) \text{ and } C_3^t = -\ln \sum_{\forall k} \exp(-c_k^t)$$

cost at time t of ICE, BEV, HEV cars respectively, so that Eq (1) is written as follows:

$$P_1^t = P\left\{(-C_1^t + \varepsilon_1^t) > \left[(-C_2^t + \varepsilon_2^t), (-C_3^t + \varepsilon_3^t)\right]\right\} \quad (2)$$

where ε_1^t , ε_2^t , and ε_3^t are Gumbel random variables identically and independently distributed with zero mean and scale parameter equal to 1.

Eq (2) leads to the multinomial logit model [4], so that we have:

$$P_1^t = \frac{\exp(-C_1^t)}{\exp(-C_1^t) + \exp(-C_2^t) + \exp(-C_3^t)} \quad (3)$$

The same solution applies for the other two types of cars, so that the probability that type r of car, $r = 1, 2, 3$, is considered preferable, is written as follows:

$$P_r^t = \frac{\exp(-C_r^t)}{\exp(-C_1^t) + \exp(-C_2^t) + \exp(-C_3^t)} \quad (4)$$

We have seen in Section 1 that the cost attributed to each type of car is a function of its diffusion, which we consider is measured by the number of cars registered in one year. Since individuals do not know the number of cars that will be registered in the year in which they make their evaluations about each type of car, the model assumes that cost c_r^{t+1} attributed at time $t+1$ to type r of car, $r = 1, 2, 3$, is a function of the number $x_r^t T^t$ of cars registered at previous time t : $c_r^{t+1} = c_r(x_r^t T^t)$ We call $c_r(x_r^t T^t)$ cost function.

Thus we have from Eq (4) that the probability P_r^{t+1} that the type r of car, $r = 1, 2, 3$, at time $t+1$ is considered preferable is written as follows:

POLITICA E ECONOMIA

$$P_r^t = \frac{\exp(-C_r^t)}{\exp(-C_1^t) + \exp(-C_2^t) + \exp(-C_3^t)} \quad (4)$$

Si è visto nella Sezione 1 che il costo attribuito a ciascun tipo di auto è funzione della sua diffusione, che riteniamo sia misurata dal numero di auto immatricolate in un anno. Poiché gli individui non conoscono il numero di auto che saranno vendute nell'anno in cui fanno le loro valutazioni circa ciascun tipo di auto, il modello assume che il costo c_r^{t+1} attribuito al tempo $t+1$ al tipo di auto r , $r = 1, 2, 3$, sia funzione del numero $x_r^t T^t$ di auto immatricolate al tempo t precedente: $c_r^{t+1} = c_r(x_r^t T^t)$. Chiamiamo $c_r(x_r^t T^t)$ funzione di costo.

Quindi si ha dalla (4) che la probabilità P_r^{t+1} che il tipo di auto r , $r = 1, 2, 3$, al tempo $t+1$ venga ritenuto preferibile si scrive come segue:

$$P_r^{t+1} = \frac{\exp[-c_r(x_r^t T^t)]}{\exp[-c_1(x_1^t T^t)] + \exp[-c_2(x_2^t T^t)] + \exp[-c_3(x_3^t T^t)]} \quad r = 1, 2, 3 \quad (5)$$

Indichiamo con \bar{x}_r^{t+1} la frazione di T^{t+1} che sarebbe composta di auto del tipo r , $r = 1, 2, 3$, se tutti coloro che hanno considerato l'auto di tipo r preferibile alle altre effettivamente la comperassero. Ritenendo P_r^{t+1} una buona stima di \bar{x}_r^{t+1} , si ha dalla (5):

$$\bar{x}_r^{t+1} = \frac{\exp[-c_r(x_r^t T^t)]}{\exp[-c_1(x_1^t T^t)] + \exp[-c_2(x_2^t T^t)] + \exp[-c_3(x_3^t T^t)]} \quad r = 1, 2, 3 \quad (6)$$

Esistono numerose ragioni, la principale delle quali è probabilmente quella economica, per le quali l'aver giudicato l'auto di tipo i preferibile alle altre non significa essere disposti a comperarla. Pertanto solo una frazione di coloro che hanno espresso tale preferenza effettivamente l'acquistano. Ciò significa che l'incremento $x_r^{t+1} - x_r^t$ di auto del tipo r vendute fra un anno t e il successivo $t+1$ è solo una frazione dell'incremento $\bar{x}_r^{t+1} - x_r^t$, che si sarebbe realizzato se tutti coloro che hanno ritenuto un'auto di tipo r preferibile l'avessero effettivamente acquistata [9]. Per cui si ha:

$$x_r^{t+1} = x_r^t + \beta(\bar{x}_r^{t+1} - x_r^t) \quad (7)$$

dove il parametro β , $0 < \beta < 1$, che supponiamo costante nel tempo, è il rapporto fra l'incremento $x_r^{t+1} - x_r^t$ della proporzione di auto del tipo r immatricolate fra t e $t+1$ e l'incremento che si sarebbe realizzato se tutti coloro che hanno ritenuto un'auto di tipo r preferibile l'avessero acquistata.

La iterata applicazione della (7), a partire dal valore iniziale x_r^0 di x_r^t , e T^0 di T^t , fornisce la sequenza temporale delle proporzioni delle immatricolazioni dell'auto di tipo r , cioè il suo processo di diffusione. L'applicazione della (7) richiede la conoscenza dei suoi parametri, cioè dei valori di β e dei coefficienti delle funzioni di costo. Supponiamo che la sequenza delle immatricolazioni annue T^t di auto e quella delle proporzioni \bar{x}_r^t di ciascuno dei tre tipi

$$P_r^{t+1} = \frac{\exp[-c_r(x_r^t T^t)]}{\exp[-c_1(x_1^t T^t)] + \exp[-c_2(x_2^t T^t)] + \exp[-c_3(x_3^t T^t)]} \quad r = 1, 2, 3 \quad (5)$$

We denote as \bar{x}_r^{t+1} the fraction of T^{t+1} that would be composed by the type r of car, $r = 1, 2, 3$, if all those who considered the type r of car preferable to the other actually bought it. By considering P_r^{t+1} a good estimate of \bar{x}_r^{t+1} , we have from Eq (5):

$$\bar{x}_r^{t+1} = \frac{\exp[-c_r(x_r^t T^t)]}{\exp[-c_1(x_1^t T^t)] + \exp[-c_2(x_2^t T^t)] + \exp[-c_3(x_3^t T^t)]} \quad r = 1, 2, 3 \quad (6)$$

There are many reasons, the main of which is probably the economic one, for which having considered the type r of car preferable to others does not mean being willing to buy it. Thus only a fraction of those who expressed this preference actually buy it. This means that the increase $x_r^{t+1} - x_r^t$ or cars of type r sold between an year t and the next $t+1$ is only a fraction of the increase $\bar{x}_r^{t+1} - x_r^t$ that would have occurred if all those who considered preferable a type r of car had actually bought it [9]. So we have:

$$x_r^{t+1} = x_r^t + \beta(\bar{x}_r^{t+1} - x_r^t) \quad (7)$$

where parameter β , $0 < \beta < 1$, which we suppose to be constant over time, is the ratio between the increase $x_r^{t+1} - x_r^t$ of the proportion of cars of type r registered between t and $t+1$, and the increase that would have been occurred if all those who considered a car of type r preferable actually had bought it.

The iterated application of Eq (7), starting with the initial value x_r^0 of x_r^t , and T^0 of T^t , furnishes the time sequence of the proportions of registrations of the car of type r , i.e. its process of diffusion. The application of Eq (7) requires the knowledge of its parameters, i.e. of the values of β and of the coefficients of cost functions. We suppose that the sequence T^t of yearly registrations of cars and that of proportions \bar{x}_r^t of each of the three types of cars, $r = 1, 2, 3$, registered each year are known, surveyed in a sequence Σ of times t , one year apart. We aim to use these sequences to estimate the value of parameter β and those of the coefficients of cost functions $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$, in such a way that the values x_r^t obtained through the iterated application of Eq (7) are as close as possible to those surveyed x_r^t .

We suppose, as in the application presented in Section 3, that each of the three cost functions $c_r(x_r^t T^t)$ have three coefficients. We denote by $\mathbf{a}_r = (a_{r,0}, a_{r,1}, a_{r,2})^T$, $r = 1, 2, 3$, the vectors of cost functions $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$. Having assigned the value of parameter β and the vectors \mathbf{a}_r , the iterated application of Eq (7), where x_r^{t+1} is given by Eq (6), starting from the initial values T^0 e $x_r^0 = \hat{x}_r^0$, furnishes the sequences $\{x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta\}$ of x_r^t in the successive times of Σ . The values of β and of vectors $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$ and \mathbf{a}_3 which minimize the sum of the square deviations $\sum_{r=1,2,3} [\hat{x}_r^t - (x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta)]^2$ for all times of sequence Σ are assumed as estimates of $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ and β .

POLITICA E ECONOMIA

di auto, $r = 1, 2, 3$ immatricolate ogni anno siano note, registrate in una sequenza Σ di tempi t , a distanza di un anno. Ci proponiamo di usare queste sequenze per stimare il valore del parametro β e quelli dei coefficienti delle funzioni di costo $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$, in modo tale che i valori x_r^t ottenuti mediante la iterata applicazione della (7) siano il più possibile vicini a quelli registrati \hat{x}_r^t .

Supponiamo, come nell'applicazione presentata nella Sezione 3, che le tre funzioni di costo $c_r(x_r^t T^t)$ abbiano ciascuna tre coefficienti. Indichiamo con $\mathbf{a}_r = (a_{r,0}, a_{r,1}, a_{r,2})^T$, $r = 1, 2, 3$, i vettori dei coefficienti delle funzioni di costo $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$. Avendo assegnato il valore del parametro β e i vettori \mathbf{a}_r , l'iterata applicazione della (7), dove \bar{x}_r^{t+1} è dato dalla (6), partendo dai valori iniziali T^0 e $x_r^0 = \hat{x}_r^0$ fornisce le sequenze $\{x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta\}$ di x_r^t nei successivi tempi di Σ . I valori di β e dei vettori $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$ e \mathbf{a}_3 che minimizzano

$$\text{la somma degli scarti quadratici } \sum_{r=1,2,3} \left[\hat{x}_r^t - (x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) \right]^2$$

per tutti i tempi della sequenza Σ sono assunti come stime di $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ e β .

Quindi le stime sono ottenute risolvendo il seguente problema:

$$\min_{\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta} \Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) \quad (8)$$

dove:

$$\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) = \sum_{r=1,2,3} \sum_{t \in \Sigma} \left[\hat{x}_r^t - (x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) \right]^2 \quad (9)$$

Non riusciamo a definire l'espressione analitica di $\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta)$, per cui la soluzione del problema (8) è ottenuta attraverso una sequenza di passi in ciascuno dei quali si sceglie un insieme di $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta$ e si calcola il corrispondente valore di $\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta)$. La procedura è ripetuta finché un criterio di arresto è soddisfatto. Fra i vari algoritmi che possono essere utilizzati, nell'applicazione presentata nella Sezione successiva è stato scelto il metodo del simplesso discendente proposto da NELDER e MEAD [14]. Una presentazione della versione del metodo di NELDER e Mead adatta alla soluzione del problema (8) è in [8].

3. Una applicazione del modello allo studio della evoluzione della distribuzione delle tecnologie di propulsione delle auto in Europa.

In questa Sezione il modello presentato nella Sezione precedente è applicato allo studio della evoluzione nel tempo della ripartizione del numero annuo di immatricolazioni fra i tre tipi di auto: MCI, BEV e HEV in Europa. ACEA [2] ha rilevato le proporzioni x_r^t , $r=1, 2, 3$ di ciascuno dei tre tipi di auto immatricolate annualmente fra il 2018 e il 2022 in Europa. Tali proporzioni sono riportate in Fig. 1. Si osserva una netta diminuzione nel tempo della proporzione relativa alle auto MCI, ed un corrispondente incremento di quella relativa alle auto elettriche, più elevata per quelle ibride rispetto a quelle a batteria.

ACEA [1] ha inoltre rilevato il numero totale T^t di auto immatricolate annualmente in Europa nello stesso periodo.

Thus he estimates are obtained by solving the following problem:

$$\min_{\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta} \Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) \quad (8)$$

where:

$$\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) = \sum_{r=1,2,3} \sum_{t \in \Sigma} \left[\hat{x}_r^t - (x_r^t | \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta) \right]^2 \quad (9)$$

We cannot define the analytic expression for $\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta)$, so that the solution of problem (8) is obtained through a sequence of steps in each of which a set of $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta$ is chosen and the corresponding value of $\Phi(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \beta)$ is computed. The procedure is repeated until a stop criterion is satisfied. Among the various algorithms that could be used, in the application presented in the following Section we have chosen the downhill simplex method proposed by NELDER and MEAD [14]. A presentation of the version of the method of NELDER and MEAD suitable for the solution of problem (8) is in [8].

3. An application of the model to the study of the evolution of the distribution of the technologies of car propulsion in Europe.

In this Section the model presented in the previous Section is applied to the study of the evolution over time of the split of the annual number of registration between the three types of cars, ICE, BEV, HEV, in Europe. ACEA [2] has surveyed the proportions x_r^t , $r=1, 2, 3$ of each of the three types of cars registered yearly between 2018 and 2022 in Europe. These proportions are shown in Fig. 1. We observe a sharp decrease over time in the proportion relative to ICE cars, and a corresponding increase in that relative to electric cars, higher for hybrid cars than for battery cars.

Moreover ACEA [1] has surveyed the total number T^t of cars registered in Europe in the same time period. These values of T^t are shown in Fig. 2. We observe a sharp decrease in the number of registrations between 2019 and 2020, after that the yearly number of registrations remains practically constant.

We have attributed to the cost functions of the three types of cars the following expressions which, as we will see later, have given an optimal approximation of the computed values to those surveyed for ICE cars, for BEV cars and for HEV cars:

$$\begin{aligned} c_1(x_1^t T^t) &= a_{1,0} + a_{1,1} x_1^t T^t + a_{1,2} (x_1^t T^t)^2 \\ c_2(x_2^t T^t) &= a_{2,0} + a_{2,1} \exp(a_{2,2} x_2^t T^t) \\ c_3(x_3^t T^t) &= a_{3,0} + a_{3,1} \exp(a_{3,2} x_3^t T^t) \end{aligned} \quad (10)$$

By using the sequences of x_r^t relative to period 2018-2022, and the corresponding sequences of T^t , we have estimated, through the procedure explained in Section 2, parameter β of Eq (7) and the coefficients of cost functions $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$. So we have estimated that $\beta = 0,164$, while the estimates of the coefficients give rise to the following expressions of cost functions:

$$\begin{aligned} c_1(x_1^t T^t) &= 60.583 + 8.493 x_1^t T^t - 0.580 (x_1^t T^t)^2 \\ c_2(x_2^t T^t) &= 62.320 + 4.573 \exp(-0.831 x_2^t T^t) \\ c_3(x_3^t T^t) &= 66.459 - 0.841 \exp(0.329 x_3^t T^t) \end{aligned} \quad (11)$$

where T^t is expressed in millions.

POLITICA E ECONOMIA

do di tempo. Questi valori di T^t sono riportati in Fig. 2. Si osserva una netta diminuzione del numero annuo di immatricolazioni fra il 2019 e il 2020, dopodiché il numero annuo di immatricolazioni si mantiene praticamente costante.

Sono state attribuite alle funzioni di costo dei tre tipi di auto le seguenti espressioni, che, come vedremo più avanti, hanno dato una ottima approssimazione dei valori delle proporzioni calcolati a quelli rilevati per l'auto MCI, per l'auto BEV:

$$\begin{aligned} c_1(x_1^t T^t) &= a_{1,0} + a_{1,1} x_1^t T^t + a_{1,2} (x_1^t T^t)^2 \\ c_2(x_2^t T^t) &= a_{2,0} + a_{2,1} \exp(a_{2,2} x_2^t T^t) \\ c_3(x_3^t T^t) &= a_{3,0} + a_{3,1} \exp(a_{3,2} x_3^t T^t) \end{aligned} \quad (10)$$

Utilizzando le sequenze degli x_r^t relativi al periodo 2018-2022, e le corrispondenti sequenze di T^t , sono stati stimati, mediante la procedura illustrata nella Sezione 2, il parametro β della (7) ed i coefficienti delle funzioni di costo $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$. È stato così stimato che $\beta = 0,164$, mentre le stime dei coefficienti danno luogo alle seguenti espressioni delle funzioni di costo:

$$\begin{aligned} c_1(x_1^t T^t) &= 60.583 + 8.493 x_1^t T^t - 0.580 (x_1^t T^t)^2 \\ c_2(x_2^t T^t) &= 62.320 + 4.573 \exp(-0.831 x_2^t T^t) \\ c_3(x_3^t T^t) &= 66.459 - 0.841 \exp(0.329 x_3^t T^t) \end{aligned} \quad (11)$$

dove T^t è espresso in milioni.

La Fig. 3 mostra le traiettorie di queste tre funzioni, le quali rappresentano le relazioni verificatesi in Europa fra il 2018 e il 2022 fra il costo mediamente attribuito ai tre tipi di auto e i numeri annui di immatricolazioni.

La traiettoria di $c_1(x_1^t T^t)$, relativa all'auto MCI, mostra un valore del costo elevato in tutto l'arco delle immatricolazioni annue considerato: ciò è da porsi in relazione con la crescente consapevolezza dei cittadini europei circa il danno ambientale causato dai veicoli MCI. Al diminuire del numero annuo di immatricolazioni, a partire dal valore massimo di circa 15 milioni raggiunto nel 2018, il costo inizia ad aumentare. Ciò è dovuto in parte al fatto che un individuo il quale esprime le sue valutazioni su questo tipo di auto è guidato nel suo giudizio da quello espresso dagli altri componenti della popolazione. Una progressiva diminuzione del numero annuo di immatricolazioni indica che il giudizio della popolazione sul tipo di auto è andato peggiorando, per cui il generico individuo che esprime la sua valutazione su di esso gli attribuisce un costo progressivamente crescente. D'altra parte è da considerare che la diminuzione del numero di immatricolazioni nel caso che stiamo esaminando è conseguente

Fig. 3 shows the trajectories of these three functions, which represent the relations occurred in Europe between 2018 and 2022 between the cost attribute on the average to the three types of cars and the yearly numbers of registrations.

The trajectory of $c_1(x_1^t T^t)$, relative to ICE car, shows a high value through all the span of the registrations considered: that has to be related with the increasing awareness of European citizens about the environmental damage caused by ICE vehicles. As the yearly number of registrations, starting from the maximum value reached in 2018, decreases, the cost begins to increase. That is depends in part on the fact that an individual who expresses his evaluation on this type of car is driven in his judgement by that expressed by the other components of population. A progressive decrease in the yearly number of registrations indicates that the judgement of the population on the type of car has worsened, so that an individual that expresses his evaluation attributes to it a progressively increasing cost. On the other hand we have to consider that the decrease in the number of registrations in the case we are examining is a consequence of the production crises caused by the COVID epidemic, which causes difficulty in obtaining the desired car. This difficulty represents a disadvantage that results in an increase in the cost attributed to the type of car. However at a certain point, when the yearly number of registrations has reached a very low value, the cost begins to decrease as registrations decrease. This means that the generic individual, who at time t expresses a judgement on the ICE car, is no longer driven by the judgements expressed by the other components of population, but by other factors, mainly of personal nature, for instance a particular commitment to ICE car.

The trajectory of $c_3(x_3^t T^t)$ relative to HEV car is a steeply decreasing curve, highlighting that the cost attributed to this

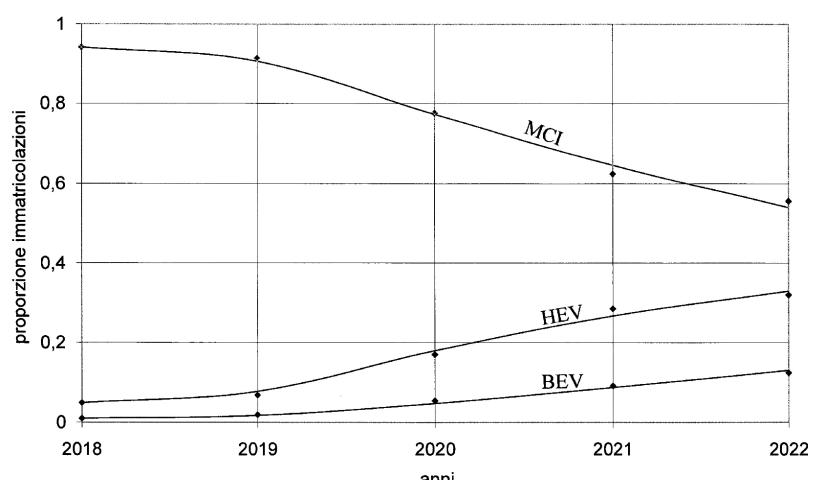


Figura 1 – Traiettorie delle proporzioni dei tre tipi di auto immatricolate annualmente in Europa sovrapposte ai punti rilevati tra il 2018 e il 2022.

Figure 1 - Trajectories of the proportions of the three types of cars registered yearly in Europe superimposed on the points surveyed between 2018 and 2022.

POLITICA E ECONOMIA

za delle crisi di produzione causata dall'epidemia di COVID, che causa difficoltà a procurarsi l'auto desiderata. Questa difficoltà rappresenta uno svantaggio che si traduce in un aumento del costo attribuito al tipo di auto. Però ad un certo punto, quando il numero annuo di immatricolazioni ha raggiunto un valore molto basso, il costo inizia a diminuire col diminuire delle immatricolazioni. Ciò significa che il generico individuo, che al tempo t esprime un giudizio sull'auto MCI, non è più guidato dai giudizi espressi dagli altri componenti della popolazione ma da altri fattori, prevalentemente di carattere personale, per esempio un particolare attaccamento all'auto MCI.

La traiettoria di $c_3(x^t_3 T^t)$ relativa all'auto HEV è una curva fortemente discendente, evidenziando che il costo attribuito a questo tipo di auto decresce rapidamente all'aumentare del numero annuo di immatricolazioni. In effetti il giudizio su questo tipo di auto dipende essenzialmente dalla conoscenza delle sue caratteristiche tecnologiche e delle sue prestazioni. All'apparire di questo tipo di auto, che un prodotto innovativo, sul mercato questa conoscenza è scarsa, ciò crea incertezza e quindi insicurezza nei potenziali compratori, per cui il costo attribuito è alto. Aumentando la diffusione la conoscenza migliora, acquisita attraverso le opinioni di coloro che hanno acquistato e usano questo tipo di auto, ed il costo attribuito diminuisce.

La traiettoria di $c_2(x^t_2 T^t)$ relativa all'auto BEV è con grande approssimazione una retta orizzontale, evidenziando che il costo attribuito a questo tipo di auto è indipendente dal numero di immatricolazioni. In effetti il giudizio su questo tipo di auto dipende non tanto dalla conoscenza delle sue prestazioni, che migliora con la diffusione, quanto piuttosto dalla previsione delle difficoltà di approvvigionamento dell'energia elettrica necessaria ad alimentare l'auto, derivante sia dalla insufficienza del numero di stazioni di ricarica, sia dalla insufficienza dell'offerta di energia elettrica qualora il numero di auto BEV in circolazione dovesse aumentare.

Attribuendo le espressioni (11) alle funzioni di costo nelle (6), e ponendo $\beta = 0.164$ nella (7), l'iterata applicazione di quest'ultima, partendo dai valori iniziali $T^0 = 15.147 \cdot 10^6$, $x^0_1 = 0.941$, $x^0_2 = 0.010$, $x^0_3 = 0.0049$ rile-

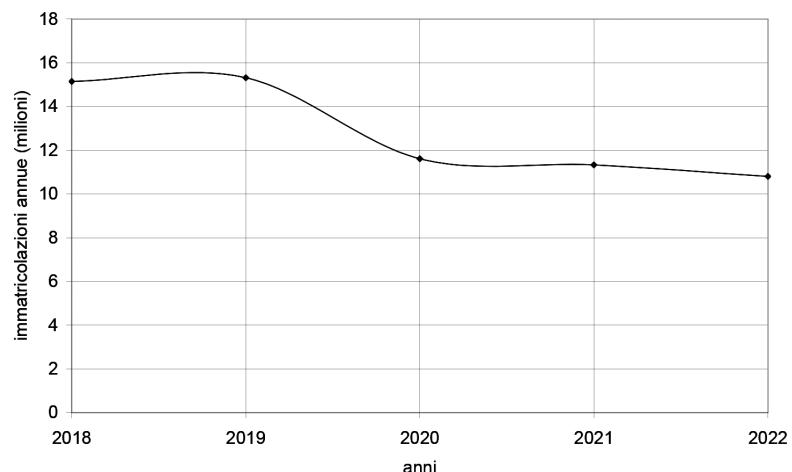


Figura 2 – Traiettorie delle immatricolazioni annue di auto in Europa sovrapposte ai punti rilevati fra il 2018 e il 2022.

Figure 2 - Trajectories of the yearly registrations in Europe superimposed on the points surveyed between 2018 and 2022.

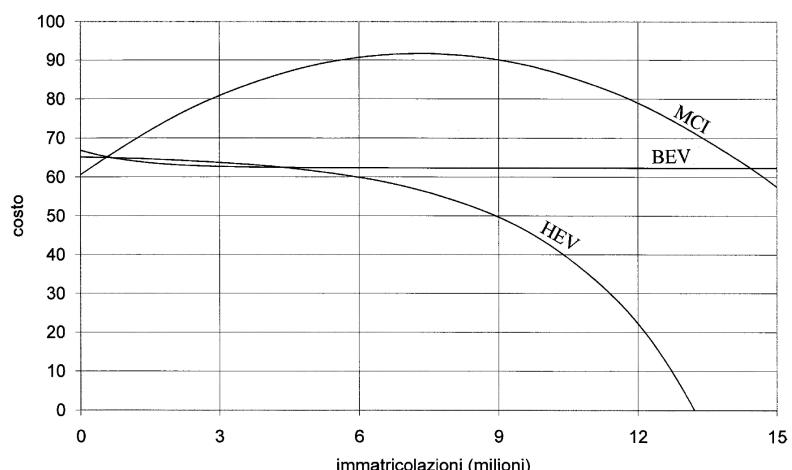


Figura 3 – Traiettorie delle funzioni di costo dei tre tipi di auto.

Figure 3 - Trajectories of the cost functions of the three types of cars.

type of car decreases rapidly as the yearly number of registrations increases. Really the judgement on this type of car depends essentially on the knowledge of its technological characteristics and on its performance. When this type of car, which is an innovative product, appeared on the market, this knowledge is poor; that creates uncertainty and thus insecurity in potential buyers, so that the attributed cost is high. As diffusion increases knowledge improves, which is acquired through the opinions of those who acquired it and use it, and the attributed cost decreases.

The trajectory of $c_2(x^t_2 T^t)$ relative to BEV car is with great approximation a horizontal line, highlighting that the cost attributed to this type of car is independent of the number of registrations. Really the judgment on this type of car depends

POLITICA E ECONOMIA

vati nel 2018, fornisce la stima delle proporzioni di immatricolazioni dei tre tipi di auto fra il 2018 e il 2022. Le traiettorie degli x_r^t , $r = 1, 2, 3$ così ottenute sono riportate in Fig. 1, sovrapposte ai punti corrispondenti ai valori rilevati. Si osserva che i valori calcolati sono molto prossimi ai valori rilevati, evidenziando la capacità del modello di riprodurre il comportamento reale del sistema allo studio e la validità delle espressioni attribuite alle funzioni di costo.

Ci si è proposto a questo punto di stimare il processo di evoluzione della ripartizione del numero annuo di immatricolazioni fra i tre tipi di auto negli anni successivi al 2022. Tenendo conto del fatto che dopo il crollo fra il 2019 e il 2020 il numero annuo di immatricolazioni si è mantenuto praticamente costante negli anni successivi, come si vede in Fig. 2, si è supposto che dopo il 2022 il numero annuo T^t di immatricolazioni rimanga costante ed uguale al valore $T^5=15.301 \cdot 10^6$ dell'anno 2022. Si è supposto inoltre che il processo di diffusione dei tre tipi di auto in Europa evolva nel tempo in modo che β conservi il valore stimato $\beta = 0.164$ e che i costi dei tre tipi di auto continuino ad essere vicini ai valori forniti dalle (11). In questo caso le espressioni (11) di $c_r(x_r^t, T^t)$, $r = 1, 2, 3$, possono essere utilizzate per calcolare, tramite le (6) e (7), le sequenze di x_r^t negli anni successivi al 2022. Le traiettorie di queste sequenze sono riportate in Fig. 4 fino all'anno 2030, sovrapposte ai punti corrispondenti ai valori rilevati fino al 2022.

Si osserva che la proporzione di immatricolazioni di auto MCI continua a diminuire dopo il 2022, raggiungendo un valore molto basso, $x_1^{30}=0.12$, nel 2030. La proporzione di immatricolazioni di auto HEV invece aumenta considerevolmente, raggiungendo un valore molto elevato, $x_3^{30}=0.74$, nel 2030. La proporzione di auto BEV in un primo tempo dopo il 2022 continua ad aumentare, ma nel 2025 si verifica un cambio di tendenza, e la proporzione comincia a diminuire raggiungendo un valore molto basso, $x_2^{30}=0.12$, nel 2030.

Utilizzando i valori di T^t rilevati fino al 2022, ed attribuendo a T^t il valore costante $15.301 \cdot 10^6$ oltre il 2022, si sono quindi calcolate le sequenze delle immatricolazioni x_r^t, T^t , $r = 1, 2, 3$, dei tre tipi di auto nel periodo fra il 2018 e il 2030. Le traiettorie di queste sequenze sono riportate in Fig. 5 sovrapposte ai punti corrispondenti ai valori rilevati fino al 2022. Si osserva che la traiettoria relativa alla auto MCI indica un crollo del numero di immatricolazioni fra il 2019 e il 2020, dopodiché continua a diminuire raggiungendo un valore molto basso, $T_1^{30}=1.8 \cdot 10^6$, nel 2030. La traiettoria relativa alle auto HEV ha invece un anda-

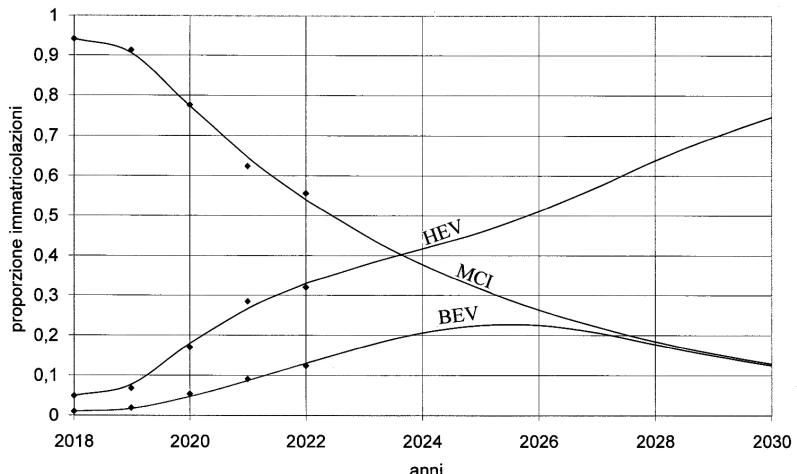


Figura 4 – Traiettorie delle proporzioni di immatricolazioni annue dei tre tipi di auto sovrapposte ai punti rilevati fra il 2008 e il 2022.

Figure 4 - Trajectories of the proportions of yearly registrations of the three types of cars superimposed on the points detected between 2008 and 2022.

not on the knowledge of its performance, which improves with the diffusion, so much as on the difficulties in supply of electricity necessary to power the car, due both to insufficient number of charging stations and the insufficient supply of electricity, should the number of circulating BEV car increase.

By attributing expressions (11) to cost functions in Eq (6), and putting $\beta = 0.164$ in Eq (7), the iterated application of the latter, starting with the initial values $T^0=15.147 \cdot 10^6$, $x_1^0=0.941$, $x_2^0=0.010$, $x_3^0=0.049$ detected in 2018, furnishes the estimates of the proportions of registrations of the three types of cars in the years between 2018 and 2022. The trajectories of x_r^t , $r = 1, 2, 3$ so obtained are shown in Fig. 1, superimposed on the points detected. We observe that the values computed are very close to the values detected, highlighting the ability of the model to reproduce the actual behaviour of the system under study and the validity of the expressions attributed to cost functions.

At this point we aim to estimate the evolution process of the split of the yearly number of registrations between the three types of cars in the years after 2022. Considering the fact that after the drop between 2019 and 2020 the yearly number of registrations remained practically constant in the following years, as we see in Fig. 2, we have supposed that after 2022 the yearly number T^t remains constant and equal to value $T^5=15.301 \cdot 10^6$ of the year 2022. Moreover we have supposed that the diffusion process of the three types of cars evolves over time in such a way that β maintains the estimated value $\beta = 0.164$ and the costs of the three types of car continue to be close to the values given by Eqs (11). In this case the expressions (11) of $c_r(x_r^t, T^t)$, $r = 1, 2, 3$, can be used to compute, through Eq (6) and Eq (7), the sequences of x_r^t in the years after 2022. The trajectories of these sequences are shown in Fig. 4 until year 2030, superimposed on the points corresponding to the values detected until 2022.

POLITICA E ECONOMIA

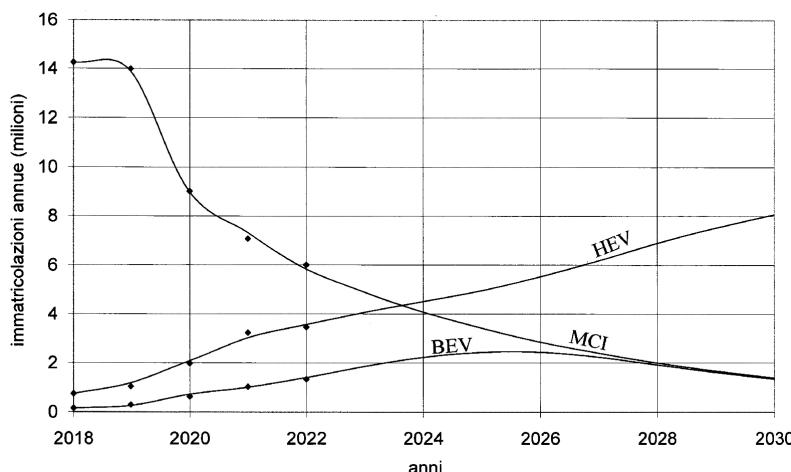


Figura 5 – Traiettorie dei numeri di immatricolazioni annue dei tre tipi di auto sovrapposte ai punti rilevati fra il 2008 e il 2022.

Figure 5 - Trajectories of the numbers of yearly registrations of the three types of cars superimposed on points recorded between 2018 and 2022.

mento ascendente, raggiungendo nel 2030 il valore di 8 milioni di immatricolazioni. La traiettoria relativa alle auto BEV ha dapprima un andamento ascendente, ma dopo il 2025 inizia a diminuire raggiungendo un valore molto basso, $T_2^{30}=1.8 \cdot 10^6$, nel 2030.

Da questi risultati, rappresentati in Fig. 4 e in Fig. 5 si ricava che la tecnologia ibrida tende ad assumere un posizione dominante nel mercato delle auto, relegando le altre due in una posizione marginale.

La sequenza dei valori di $c_r(x_r^t, T^t)$, $r = 1, 2, 3$, calcolati attribuendo a x_r^t e a T^t i valori relativi ai successivi tempi t , individua la funzione del tempo $\Psi_r(t) = c_r(x_r^t, T^t)$, la quale individua l'evoluzione nel tempo del costo attribuito a ciascuno dei tre tipi di auto. La Fig. 6 mostra l'andamento di tale funzione nel periodo 2018-2030.

La figura mostra che il costo relativo alle auto MCI ha subito un drammatico aumento tra il 2019 e il 2020: ciò è una conseguenza della crisi di produzione di auto in Europa dovuta al COVID, di cui si è parlato in precedenza, che ha colpito essenzialmente le auto MCI, da cui sono derivate difficoltà per i consumatori a procurarsi questo tipo di auto. Queste difficoltà hanno rappresentato un grave svantaggio, che si è tradotto in un elevato aumento del costo attribuito dai consumatori. Negli anni successivi il costo è andato diminuendo contemporaneamente all'aumento dell'offerta di auto, mantenendosi però sempre al-

We observe that the proportion of registrations of car ICE continues to decrease after 2022, reaching a very low value, $x_1^{30}=0.12$, in 2030. Instead the proportion of registrations of cars HEV increases substantially, reaching a very high value, $x_3^{30}=0.74$, in 2030. The proportion of BEV cars in the first time after 2022 continues to increase, but in 2025 a change in trend occurs, and the proportion begins to decline reaching a very low value, $x_2^{30}=0.12$, in 2030.

Then, by using the values of T^t detected until 2022, and attributing to T^t the constant value $15.301 \cdot 10^6$ after 2022, we have computed the sequences of registrations of the three types of cars in the period between 2018 and 2030. The trajectories of these sequences are shown in Fig. 5 superimposed on the points corresponding to the value recorded until 2022. We observe that the trajectory relative to ICE cars shows a

drop in the number of registrations between 2019 and 2020, after that it continues to decrease reaching a very low value $T_1^{30}=1.8 \cdot 10^6$ in 2030. Instead the trajectory relative to HEV cars has an ascending pattern, reaching in 2030 the value of 8 million registrations. The trajectory relative to BEV cars has at first an ascending pattern, but after 2025 it begins to decline reaching a very low value, $T_2^{30}=1.8 \cdot 10^6$, in 2030.

We obtain from the data shown in Fig. 4 and in Fig. 5 that the hybrid technology tends to assume a dominant position in the car market, confining the other two in marginal positions.

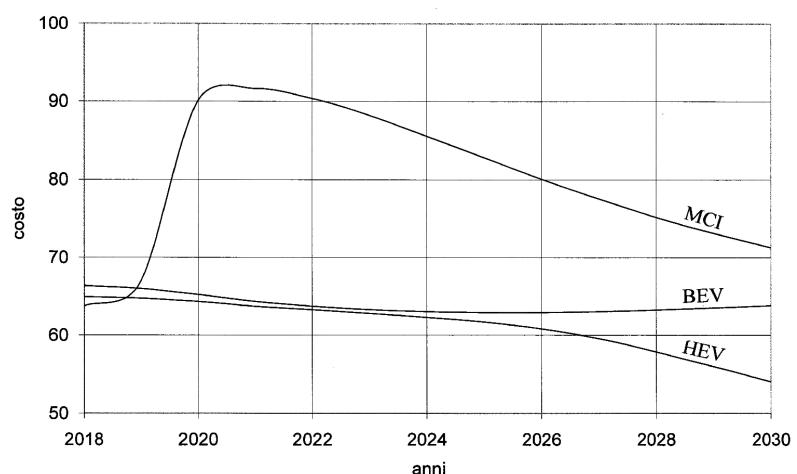


Figura 6 – Andamento dei costi dei tre tipi di auto al variare del tempo fra il 2018 e il 2030.

Figure 6 - Trajectories over time of costs of the three types of cars between 2018 and 2030.

POLITICA E ECONOMIA

quanto più elevato di quello attribuito agli altri due tipi di auto. Questo elevato valore del costo è anche una conseguenza della crescente consapevolezza dei consumatori, di cui si è parlato in precedenza, del danno ambientale causato dalle auto MCI.

Il costo attribuito alle auto BEV si mantiene praticamente costante nel corso degli anni, indipendente dal livello di diffusione. Ciò dipende dal fatto, evidenziato in precedenza, che la valutazione dei consumatori su questo tipo di auto dipende non tanto dalle sue prestazioni che migliorano con la diffusione, quanto piuttosto dalle previsioni delle difficoltà di approvvigionamento dell'energia elettrica necessaria per alimentare l'auto, derivante sia dalla insufficienza del numero di stazioni di ricarica, sia dalla prevedibile insufficienza dell'offerta di energia elettrica, qualora il numero di auto BEV in circolazione dovesse aumentare.

Il costo delle auto HEV diminuisce nel corso degli anni come conseguenza della sua diffusione evidenziata dalla Fig. 5, mantenendosi al disotto di quello degli altri tipi di auto.

Si osserva che a partire dal 2020 il costo delle auto MCI è notevolmente più elevato di quello delle auto HEV, e ciò è la causa della progressiva diminuzione della proporzione di immatricolazioni di auto MCI mostrato dalla Fig. 4 e del corrispondente aumento di quella delle auto HEV. Poiché l'elevato valore del costo delle auto MCI è conseguenza del drammatico aumento verificatosi nel 2019 a causa della crisi di produzione dovuta al COVID, è ragionevole attribuire a questa crisi di produzione l'innesco del processo di diminuzione del numero di immatricolazioni di auto MCI e di quello di aumento delle auto HEV.

Queste ultime sono d'altra parte nettamente favorite rispetto alle auto BEV, perché non hanno la necessità di approvvigionarsi di energia elettrica, e sembrano tendere ad assumere una posizione dominante nel mercato delle automobili in Europa.

4. Conclusioni

Attualmente sono offerti sul mercato europeo tre tipi di auto dotati di diversi sistemi di propulsione: auto con motore a combustione interna (MCI), auto elettriche a batteria (BEV) e auto ibride (HEV), alcune delle quali (PHEV) possono anche essere caricate alle stazioni di ricarica. Date le scelte dei costruttori e delle Pubbliche Amministrazioni, l'evoluzione della ripartizione delle immatricolazioni fra questi tre tipi di auto dipende dalle scelte dei consumatori. Nel fare la sua scelta un individuo pone a confronto i tre tipi di auto, valutando vantaggi e svantaggi di ciascuno: abbiamo supposto in questo articolo che egli sintetizzi le sua valutazioni attribuendo un numero a ciascun tipo e modello di auto: più alto è il numero meno preferibile è l'auto. L'individuo pone quindi a confronto i tre modelli a cui ha attribuito il minimo numero

The sequence of values of $c_r(x_r^t T^t)$, $r = 1, 2, 3$, computed by attributing to x_r^t and to T^t the values relative to successive times t , identifies the time function $\Psi_r(t) = c_r(x_r^t T^t)$, which identifies the evolution over time of the cost attributed to each of the three types of cars. Fig. 6 shows the pattern of this function in the period 2018-2030.

The figure shows that the cost relative to ICE cars has experienced a dramatic increase between 2019 and 2020: that is a consequence of the crisis of car production in Europe due to COVID, as we have seen previously, which hit mainly ICE cars and created difficulties to consumers to obtain this type of car. These difficulties represented a great disadvantage, which resulted in a high increase in the cost attributed by consumers. In the following years cost has been decreasing at the same time as the increase in car supply, but remaining always somewhat higher than that attributed to the other two types of cars. This high value of cost is also a consequence of the increasing awareness of consumers, as said before, of the environmental damage caused by ICE cars.

The cost attributed to BEV cars remains practically constant during the years, independently of the level of diffusion. This depends on the fact, highlighted previously, that the evaluation of consumers on this type of car depends not so much on its performance that improves with diffusion as on the difficulties in the supply of electricity necessary to power the car, deriving on both the insufficient number of charging stations, and the foreseeable insufficiency of electricity, should the number of circulating BEV increase.

The cost of HEV cars decreases over the years as a consequence of its diffusion highlighted by Fig. 5, staying below that of the other types of cars.

We observe that starting from 2020 the cost of ICE cars is notably higher than that of HEV cars, and this is the cause of the progressive decrease in registrations of ICE cars shown in Fig. 4 and of the corresponding increase in those of HEV cars. As the high value of cost of ICE cars is a consequence of dramatic increase occurred in 2019 because of the crisis of production due to COVID, it reasonable to attribute to this crisis of production the trigger of the process of decrease in the number of registrations of ICE cars and that of the increase in HEV cars. On the other hand the latter are substantially favoured compared to BEV cars, as they do not need to stock up with electricity, and seem to tend to assume a dominant position in the car market in Europe.

4. Conclusions

At present three types of cars are offered on the market, equipped with different systems of propulsion: cars with internal combustion engine (ICE), electric battery-powered cars (BEV) and hybrid cars, some of which (PHEV) can also be charged at charging stations. Given the choices of manufacturers and of Public Administrations, the evolution of the split of registrations between these three types of cars depends on the choices of consumers. To make his choice an individual compares the three types of cars, evaluating advan-

POLITICA E ECONOMIA

in ciascuno degli insiemi di modelli di auto MCI, BEV, HEV, e ritiene preferibile il tipo e il modello di auto a cui ha attribuito il numero minore. Questi tre numeri minimi sono le determinazioni di tre variabili aleatorie perché le valutazioni variano in maniera casuale nella popolazione dei vari individui dipendendo dalle caratteristiche psicologiche e socio-economiche di ciascuno. Definiamo le medie di queste tre variabili costo dell'auto MCI, BEV, HEV rispettivamente.

Si è mostrato in questo articolo che tra il 2018 e il 2019 si è verificato in Europa un drammatico aumento del costo delle auto MCI, essenzialmente conseguenza della diminuzione dell'offerta di auto dovuta al COVID. Si è calcolato che negli anni successivi il costo, il cui elevato valore è anche una conseguenza della crescente consapevolezza dei consumatori del danno ambientale causato dalle auto MCI, è andato diminuendo, mantenendosi però sempre alquanto più elevato di quello stimato per gli altri due tipi di auto.

L'aumento del costo delle auto MCI nel 2019 ha innescato il processo evolutivo della ripartizione delle immatricolazioni negli anni successivi, che è stato studiato fino al 2030, ritenendo che oltre quella data le previsioni sarebbero del tutto inaffidabili, dipendendo da fattori attualmente imprevedibili. In questo processo evolutivo il costo delle auto MCI, molto più elevato di quello degli altri due tipi di auto, causa il progressivo aumento delle immatricolazioni di queste ultime. Ma, mentre nel caso delle auto HEV questo aumento causa una progressiva diminuzione del costo, non ha effetto sul costo delle auto BEV, il quale resta costante e quindi progressivamente più alto di quello delle auto HEV. Accade quindi che ad un certo punto la proporzione di immatricolazioni delle auto BEV inizia a diminuire progressivamente insieme con quella delle auto MCI, mentre quella delle auto HEV aumenta. Il risultato è che queste ultime tendono ad assumere, nell'arco temporale considerato, una posizione dominante nel mercato delle automobili.

tages and disadvantages of each: we have supposed in this paper that he synthesizes his evaluations attributing a number to each type and model of car: higher the number is the less preferable the car is. Then the individual compares the three models to which he attributed the minimum number in each of sets of models of ICE, BEV, HEV, and considers preferable the type and model of car to which he attributed the minimum number. These three minimum numbers are the determinations of three random variables, as the evaluations vary randomly in the population of individuals depending on the psychological and socio-economic characteristics of each of them. We define the averages of these three variables cost of ICE, BEV, HEV car respectively.

We have shown in this paper that between 2018 and 2019 a dramatic increase in the cost of ICE cars occurred, essentially caused by the decrease in the supply of cars due to COVID. We have computed that in the following years the cost, whose high value is also a consequence of the increasing awareness of consumers of the environmental damage caused by ICE cars, has been decreasing, however remaining always higher than that estimated for the other two types of cars.

The increase in cost of ICE cars in 2019 triggered the evolution process of the split of registrations in following years, which has been studied until 2030, considering that beyond this data forecasts would be completely unreliable depending on currently unpredictable factors. The cost of ICE cars, much higher than that of the other two types of car, causes the progressive increase in the registrations of the latter. But, while in the case of HEV cars this increase causes a progressive decrease in cost, it has no effect on cost of BEV cars, which remains constant and thus progressively higher than that of HEV cars. So it happens that at a certain point the proportion of registrations of BEV cars begins to decrease along with that of ICE cars, while that of HEV cars increases. The result is that the latter tends to assume in the period considered a dominant position in the car market.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] ACEA (2022a), "New passenger car registrations by country". Historical Series.
- [2] ACEA (2022b), "Fuel types of new passenger cars in the EU". <https://www.acea.autofigure>.
- [3] AJANOVIC A. (2022), "The impact of COVID-19 on the market prospects of electric passenger cars". WILEY Electric and Environment, 1-16.
- [4] CASCETTA E. (1998), "Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria ed applicazioni". UTET, Torino.
- [5] DALLA CHIARA B., DEFLOREO F., EID M. (2019), "Analysis of real driving data to explore travelling needs in relations to hybrid-electric vehicle solutions". Transport Policy 52, 97-116.
- [6] DALLA CHIARA B., DEFLOREO F., PELLICELLI M., CASTELLO L., EID M. (2019), "Perspectives on electrification for the automotive sector: A critical review of average daily distances by light-duty vehicle, required range, and economic outcomes". Sustainability 11, 1-35.
- [7] "EU agrees to end sales of combustion engine vehicles by 2035". <http://www.France 4.com>.
- [8] FERRARI P. (2002), "Road pricing and network equilibrium. Transp". Res. B 36, 471-483.

POLITICA E ECONOMIA

- [9] FERRARI P. (2021), "Il processo di diffusione dell'auto elettrica". Ingegneria Ferroviaria 6/2021, 495-508.
- [10] FRIESKE B., KLOETZKE M., MAUSER F. (2013), "Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles". World Electric Vehicle Journal, Vol. 6, 9-19.
- [11] KILLIAN R.D. (2022), "The effect of COVID-19 pandemic on new passenger car registrations in Western Europe. Master Thesis at Slowenka Technika Univerzita", 1-120.
- [12] LV C. (2015), "Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficient improvement of electrified vehicles". Energy Conversion and Management 92, 469-482.
- [13] MARABETE M., DALLA CHIARA B., MAINO C., SPESSA E. (2022), "Electrified road transport through plug-in hybrid powertrain: Compliance by simulation of specific emission target with real driving cycles". Transportation Research Interdisciplinary Perspectives 15, 1- 20.
- [14] NELDER J.A., MEAD R. (1965), "A simplex method for function optimization". The Computer Journal 7, 308-313.
- [15] PAVLINEK P. (2012), "The impact of the 2008-2009 crisis on the automotive industry: global trends and firm-level effects in Central Europe". European Urban and Regional Studies, 1-21.
- [16] PELLE A., TEBAJDI G. (2021), "COVID-19 and transformational megatrends in the European automotive industry: Evidence from business decisions with a Central and Eastern European focus". Entrepreneurial Business and Economics Review. Vol.9, No 4, 19-33.
- [17] PRAJAPATI K. C., PATEL R., SAGAR R. (2014), "Hybrid vehicles: a study on technology". International Journal of Engineering Research and Technology Vol.3, Issue 12, 1076-1082.
- [18] SAFARI M. (2018), "Battery electric vehicles: Looking behind to move forward". Energy Policy 115, 54-65.
- [19] TOROK L. (2020), "The link between car sales and the economic crisis in the European Union at the time of the COVID-19 Epidemic". International Journal of Economics and Business Administration, Vol VIII, Issue 4, 1033-1042.
- [20] XIONG S., JI J., MA X. (2019), "Comparative life cycle energy and GHG emissions analysis for BEVs and PHEVs: A case Study in China". Energy 12, 184, 1-17.
- [21] XU G., WEIMIN L., XU K., SONG Z (2011), "An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles". Energy 4, 1461- 1477.

Errata Corrige

Si informano i gentili lettori che nell'articolo: **"Analisi della velocità di un elettrotreno merci a potenza distribuita su linee ad alta velocità"**, pubblicato nella rubrica "Osservatorio", numero 5 Maggio 2023, Ingegneria Ferroviaria, il richiamo bibliografico [40] non è: "[40] BASILE D. et al. (2018), "On the Industrial Uptake of Formal Methods in the Railway Domain" bensì "[40] BASILE D. et al. (2018), "On the Industrial Uptake of Formal Methods in the Railway Domain" in International Conference on Integrated Formal Methods, Maynooth, Ireland. IFM 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11023, pp 20-29. Springer, Cham".



*IF Editorial Board will inform our readers that in the paper "**Assessing the speed of an electric multiple-unit freight train on high-speed lines**", published on "Observatory" Section, May 2023, 5th issue of IF - Ingegneria Ferroviaria, the bibliographical reference [40] is not "[40] BASILE D. et al. (2018), "On the Industrial Uptake of Formal Methods in the Railway Domain" but: "[40] BASILE D. et al. (2018), "On the Industrial Uptake of Formal Methods in the Railway Domain" in International Conference on Integrated Formal Methods, Maynooth, Ireland. IFM 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11023, pp 20-29. Springer, Cham".*

IF - Ingegneria Ferroviaria
La redazione
Editorial Board