

INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELL'ANALISI STATISTICA

L'obiettivo è fare un'analisi descrittiva incentrata sull'impatto ambientale e sull'autonomia di automobili, facendo particolare attenzione a: tendenze e cambiamenti nel tempo, e alla diffusione e ai consumi dei carburanti più diffusi.

In particolare:

1. Fare quindi un'analisi sull'autonomia di veicoli automobilistici. Analizzare quali sono le marche che producono i veicoli con la maggiore autonomia, e in che modo il tipo di carburante utilizzato impatta l'autonomia.
2. Osservare quali sono i modelli che hanno un minore impatto ambientale e quali tipi di carburante sono meno inquinanti.
3. Individuare e osservare trend e cambiamenti nel tempo, dal punto di vista dell'efficienza di ogni tipo di carburante.
4. Stabilire se, al giorno d'oggi, le auto elettriche siano un'alternativa valida ai modelli termici, considerando sia vantaggi che costi.

Con queste informazioni, si sarà in grado di delineare un quadro chiaro e aggiornato del panorama attuale dell'efficienza del carburante nel settore automobilistico.

DESCRIZIONE DEL DATASET

Il dataset "Vehicle Fuel Economy", disponibile su Kaggle al seguente [Link](#), contiene le informazioni di 38113 entry. Ogni dato corrisponde a un modello di macchina univoco e diverso. Il dataset contiene 81 colonne, che danno informazioni su consumi, emissioni e caratteristiche fisiche di ogni veicolo. Sono stati ottenuti dati provenienti esclusivamente dagli USA. Tramite Data Cleaning, il numero di colonne è stato ridotto a 38.

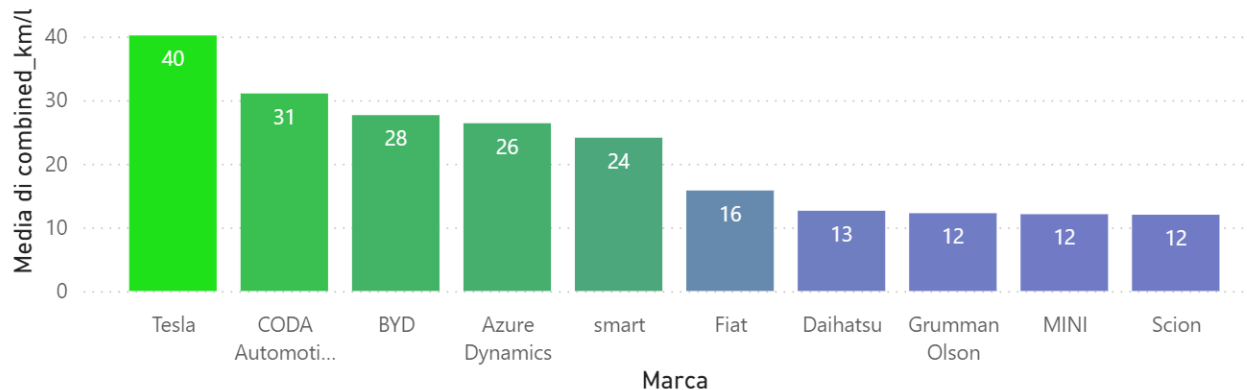
Le unità di misura imperiali sono state convertite al sistema metrico: Nel caso di miles per gallon, i dati corrispondenti sono stati trasformati in chilometri per litro.

Anche le informazioni economiche sono state convertite da dollari ad euro.

Top 10 Media di combined_km/l per brand

Top 10 Marche in base all'autonomia

Media di combined_km/l 11,99 40,16



La casa automobilistica avente, in media, la maggiore autonomia per le sue automobili risulta essere Tesla.

Le principali strategie adottate dalla casa per migliorare l'autonomia delle sue auto elettriche sono le seguenti:

1. Ottimizzazione del software:

Tesla rilascia regolarmente aggiornamenti software per ottimizzare l'efficienza energetica, modificando caratteristiche del veicolo come la gestione della batteria, l'accelerazione e la frenata rigenerativa. Ad esempio, l'aggiornamento "Range Mode" consente di ridurre il consumo energetico disattivando alcune funzionalità non essenziali. [1]

2. Ricerca e sviluppo sulla batteria:

Tesla investe in ricerca e sviluppo per migliorare la tecnologia delle batterie, il che ha un impatto diretto sulla loro efficienza. Ad esempio, la nuova cella "4680" promette un aumento significativo dell'autonomia e una maggiore durata della batteria. [2]

3. Aerodinamica e design:

Tesla progetta la forma delle proprie auto in modo da migliorarne l'autonomia. Nel caso del Model S Plaid, ad esempio, essa è stata ottimizzata per ridurre il trascinamento aerodinamico. [3]

4. Efficienza dei motori elettrici:

I motori a induzione utilizzati nelle Tesla hanno migliore rendimento energetico, uguale al 93%. I motori a riluttanza a magnete permanente, una nuova tecnologia usata nel Model 3, raggiungono un'efficienza ancora maggiore, pari al 97%. [4]

Ulteriori informazioni sui motori a riluttanza si possono trovare in [5].

Nota: Quando si dice che un motore ha un'efficienza del 93%, significa che il 93% dell'energia elettrica fornita al motore viene effettivamente convertita in movimento meccanico (ad esempio, la rotazione delle ruote in una vettura elettrica). Il restante 7% potrebbe essere dissipato come calore o in altre perdite interne.

5. Gestione termica intelligente delle batterie:

I sistemi di raffreddamento e riscaldamento della batteria sono progettati per garantire prestazioni ottimali, mantenendo la loro temperatura all'interno di un intervallo ottimale. [6]

Al secondo posto abbiamo CODA Automotive, un'azienda americana che si distingue per la sua specializzazione nella progettazione e assemblaggio di sistemi di batterie al fosfato di ferro e litio (LiFePO₄) per applicazioni automobilistiche e di stoccaggio energetico.

Coda Automotive ha smesso di produrre automobili nel 2016 principalmente a causa di difficoltà finanziarie. Nonostante la sua specializzazione, l'azienda ha avuto difficoltà a competere con altre case automobilistiche più consolidate sul piano delle vendite. [7]

Al terzo posto BYD, il gigante cinese delle auto elettriche, che ha sviluppato un nuovo sistema di propulsione ibrida, combinando un motore a combustione interna (benzina o diesel) con un motore elettrico.

Il sistema ibrido di BYD è dotato di un sofisticato software di gestione che decide quale dei due motori usare: ad esempio, durante la guida in città o in altre situazioni a bassa velocità, l'auto può funzionare principalmente con il solo motore elettrico, mentre quando si viaggia su lunghe distanze o si richiede una maggiore potenza, passa al motore a combustione interna. [8]

Al quarto Azure Dynamics, che non è principalmente un produttore di macchine, ma si concentra sulla fornitura di sistemi di propulsione elettrica, componenti e tecnologie per veicoli elettrici. Ha collaborato con Ford Motor Company per sviluppare il Transit Connect Electric.

A causa di difficoltà finanziarie Azure ha chiuso nel 2012. [9]

Al quinto Smart, una casa automobilistica specializzata in veicoli compatti e cittadini, il che porta ad impatti positivi sull'autonomia. Le loro auto più piccole hanno una sezione trasversale più ridotta, il che riduce la resistenza dell'aria, migliorandone l'autonomia. Il peso minore dei loro veicoli diminuisce la quantità di energia necessaria a muoverli, il che migliora la loro autonomia.

Nel settore della ricerca, Smart produce modelli completamente elettrici, aventi autonomia superiore rispetto alle versioni a combustione interna. Ad esempio, la Smart EQ Fortwo ha un'autonomia di circa 110-130 km con una singola carica. [10]

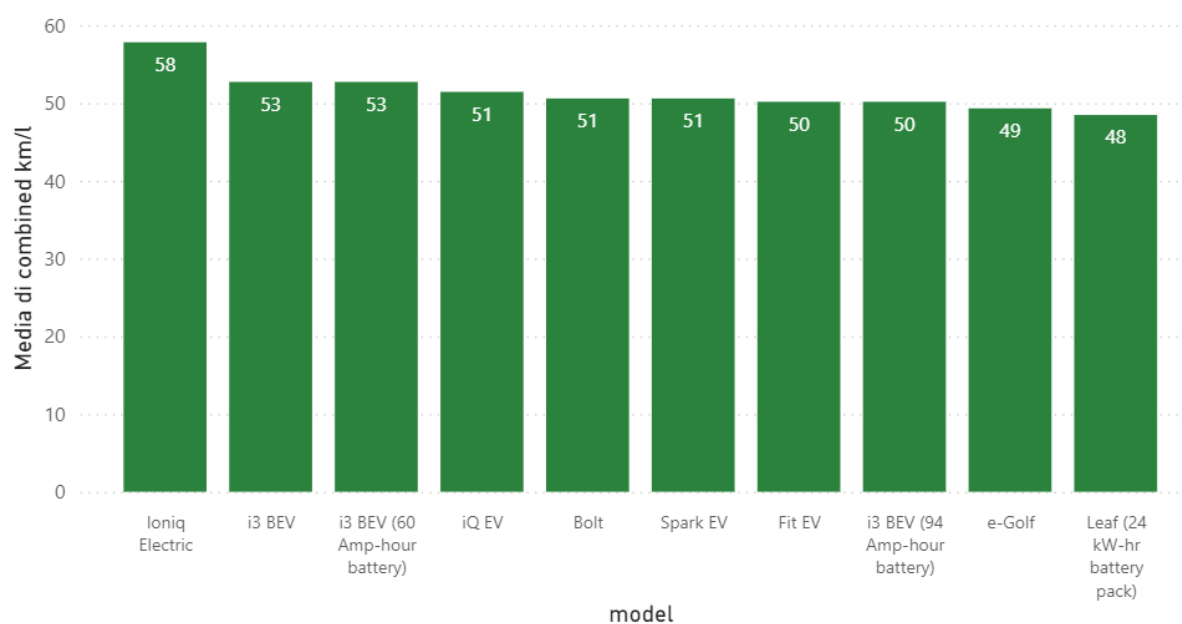
Al sesto Fiat, che negli ultimi anni ha aumentato i propri investimenti in nuove tecnologie di elettrificazione. Prendiamo come esempio il modello Fiat Multipla 2025, che sarà disponibile sia in versione ibrida che completamente elettrica. Si prevede che la versione elettrica avrà un'autonomia di circa 400 km grazie a una batteria LFP (Litio Ferro Fosfato) [11].

Si prevede che il prezzo della Fiat Multipla 2025 sia molto competitivo: avrà un costo inferiore ai 25.000 euro per la versione elettrica ed inferiore ai 20.000 euro per quella ibrida.

Possiamo trarre come conclusione che l'utilizzo di un motore elettrico è direttamente correlato ad una maggiore autonomia, siccome ai primi quattro posti abbiamo case automobilistiche che producono esclusivamente macchine elettriche, mentre i restanti posti sono occupati da case che producono macchine ibride, aventi motori elettrici.

Top 10 modelli con miglior autonomia km/l

Top 10 modelli di macchine in base all'autonomia



Ioniq Electric



i3 BEV



iQ EV



Bolt



Spark EV



Fit EV



E-Golf



Leaf (24 kW-hr battery pack)



Possiamo notare come non ci sono particolari somiglianze nel design di questi veicoli, ad eccezione delle curve particolarmente pronunciate, che ne migliorano l'aerodinamicità.

Ioniq Electric



I3 BEV



i3 BEV (60 Amp-hour battery)

iQ EV



Bolt



Spark EV



Fit EV



i3 BEV (94 Amp-hour battery)

e-Golf



Leaf (24 kW-hr battery pack)



L'analisi dei modelli con la maggiore autonomia mostra che l'innovazione in questo settore è diffusa tra diverse case automobilistiche, non limitata a una sola. Ad esempio, Hyundai con la Ioniq Electric, BMW con l'I3 BEV, Chevrolet con Bolt e Spark

EV, Honda con il Fit EV, Volkswagen con l'e-Golf e Nissan con la Leaf dimostrano che vari produttori stanno investendo nello sviluppo di veicoli elettrici ad alta autonomia.

Un punto interessante è la varietà di modelli disponibili e le diverse capacità delle batterie offerte. Ad esempio, la BMW i3 è disponibile in varianti con capacità della batteria diverse, come 60 Ah e 94 Ah, il che evidenzia come l'autonomia possa variare significativamente anche all'interno dello stesso modello in base alla capacità della batteria scelta.

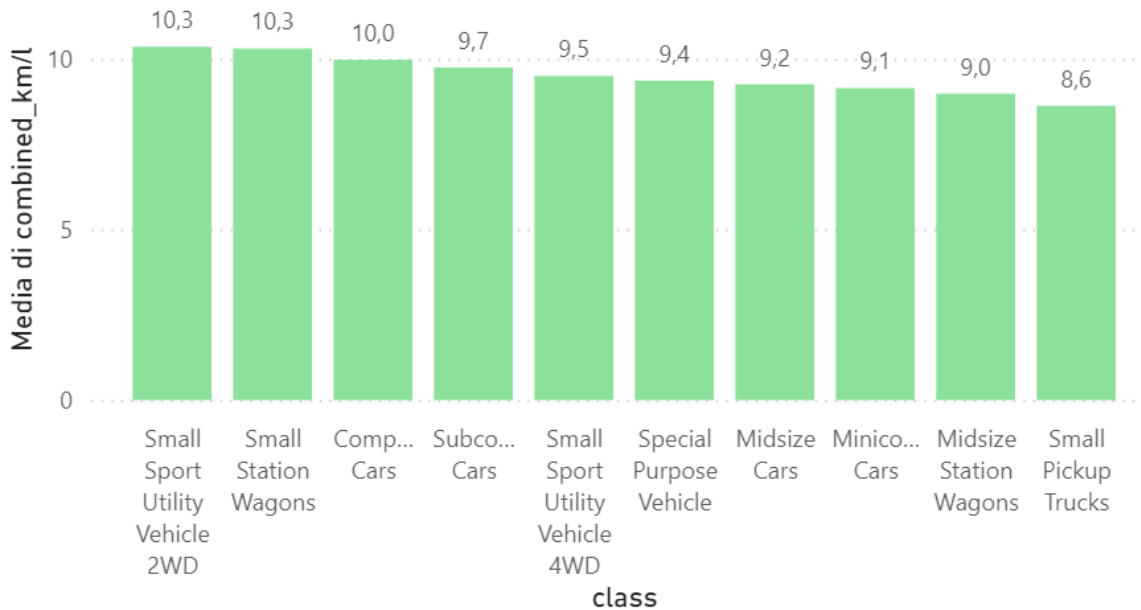
La tecnologia delle batterie gioca un ruolo cruciale nell'autonomia dei veicoli elettrici. I modelli dotati di batterie più grandi e tecnologicamente avanzate tendono a offrire una maggiore autonomia, il che sottolinea l'importanza dell'innovazione continua in questo ambito per migliorare le prestazioni dei veicoli elettrici.

I dati analizzati indicano una crescente competizione tra i produttori di veicoli elettrici per migliorare l'autonomia, un aspetto cruciale per favorire l'adozione di massa di questi veicoli. L'autonomia è uno degli elementi principali che i consumatori considerano quando scelgono un veicolo elettrico, e i modelli attuali riflettono significativi progressi tecnologici in questo ambito.

Oltre alla capacità della batteria, altri fattori influenzano l'autonomia. L'aerodinamica del veicolo, il peso, l'efficienza del motore elettrico e il sistema di gestione dell'energia giocano tutti un ruolo significativo. Modelli come la Chevrolet Bolt e la Hyundai Ioniq Electric sono noti per combinare batterie capienti con una buona efficienza energetica, massimizzando così l'autonomia.

10 peggiori e migliori classi

Migliori 10 classi in base all'autonomia



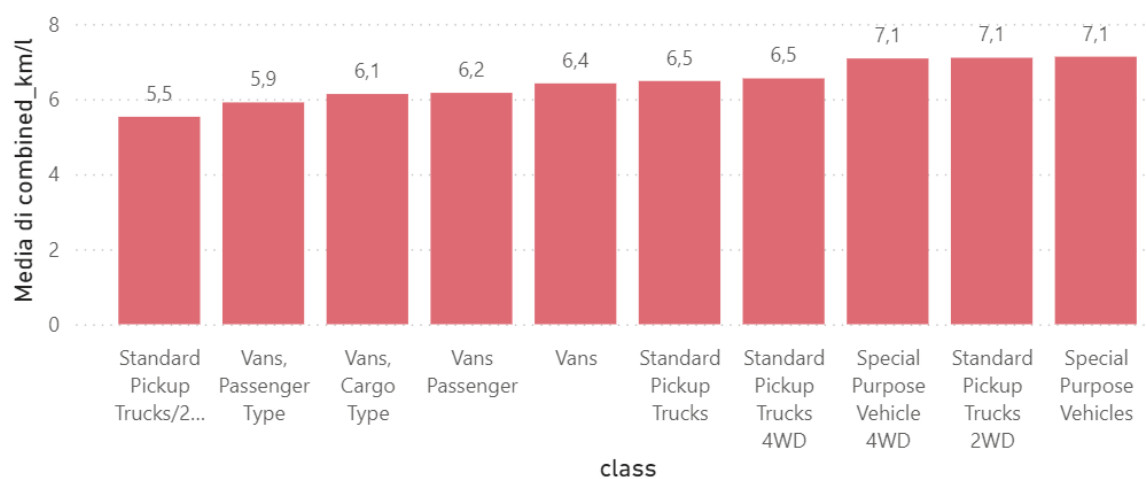
Tutti questi veicoli hanno dimensioni compatte rispetto alla loro classe: come conseguenza, hanno motori più piccoli, che consumano meno carburante/carica elettrica. Il loro peso è inoltre ridotto, e pertanto i consumi necessari per spostarli sono ridotti.

Nel caso delle station wagon, la maggior parte della loro massa è più vicina a terra delle altre classi, e ciò contribuisce a migliorare la loro aerodinamicità. [12]

Lo stesso motivo si applica anche agli Small Utility Vehicle (SUV): la differenza principale tra il primo posto ed il quinto a parità di classe è la differenza tra la guida a due ruote motrici (2WD) e quella a 4 (4WD).

I sistemi di guida 2WD pesano meno e richiedono una quantità di energia sufficiente per due ruote piuttosto che per quattro, pertanto hanno consumi notevolmente ridotti. [13]

Peggiori 10 classi in base all'autonomia



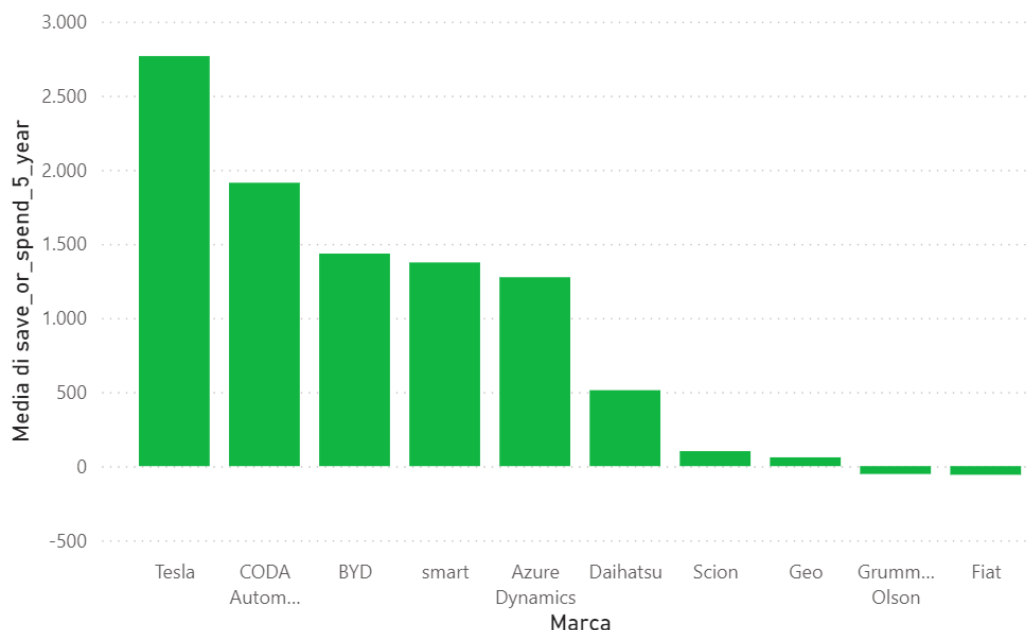
Agli ultimi posti si possono individuare tre categorie principali:

- Special Purpose Vehicles (Veicoli a scopo speciale): Sono veicoli altamente specializzati che sono impiegati per compiti specifici, e pertanto non prestano particolare attenzione all'efficienza. Rientrano in questa categoria i veicoli di soccorso, autospazzatrici e veicoli per manutenzione stradale.
- Pickup, progettati per il carico e scarico di materiali in spazi più compatti di un furgone: le loro dimensioni risultano spesso in autonomia maggiore a confronto.
- Furgoni (vans), tendono a pesare di più ed utilizzare motori più datati.

Come evidenziato nel grafico precedente, si può notare come l'uso di sistemi di guida 4WD risultano in autonomia minore a parità di classe del veicolo. Le dimensioni della classe di veicolo hanno comunque impatto maggiore sulla sua autonomia media.

SAVE OR SPEND 5 YEARS

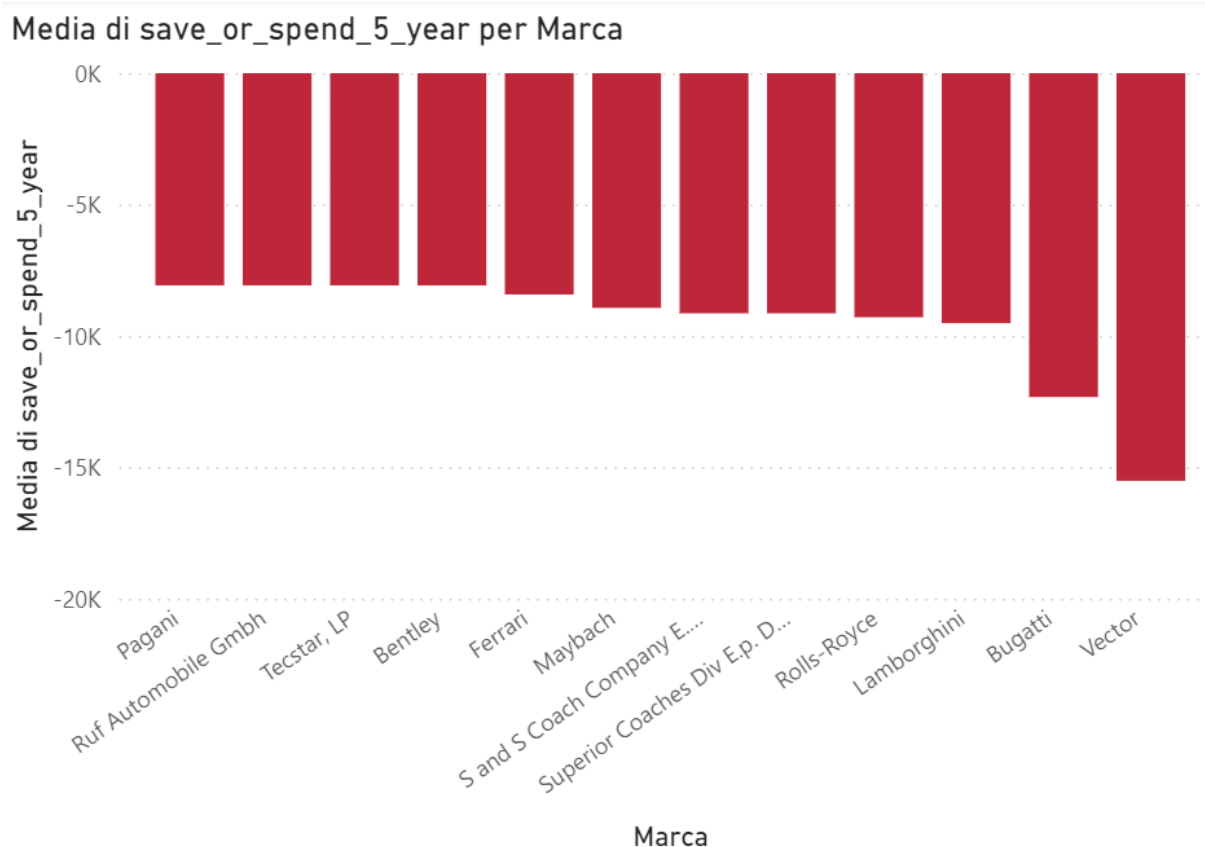
Media di save_or_spend_5_year per Marca



Save_or_spend_5_years è un dato, disponibile per ogni macchina, messo a disposizione dal sito di Fuel Economy: <https://www.fueleconomy.gov/feg/label/learn-more-gasoline-label.shtml#you-save-spend-more>.

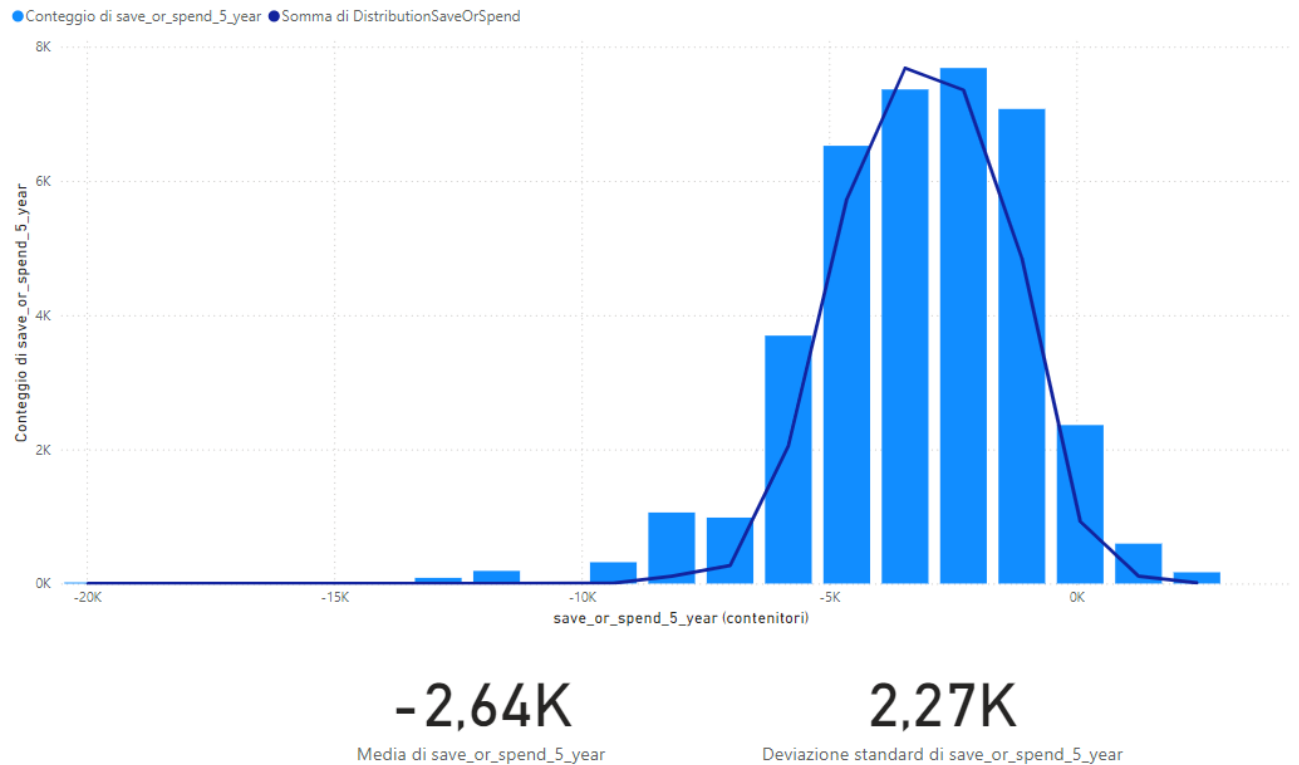
Il dato mostra il costo stimato del carburante per un periodo di cinque anni per il veicolo rispetto al veicolo nuovo medio. Se il veicolo farebbe risparmiare denaro al consumatore rispetto al veicolo medio, l'etichetta riporta un numero positivo, altrimenti sarebbe negativo. Queste stime si basano su una percorrenza di 24.000 chilometri all'anno, per cinque anni, e il prezzo del carburante previsto per l'anno (€0,88 per litro di benzina ad esempio).

Possiamo notare che ci sono solo 5 marche che permettono di risparmiare più di 1000 euro in 5 anni. 4 di queste producono auto esclusivamente elettriche, e poi c'è smart che produce anche auto ibride. Quindi, l'utilizzo di una macchina elettrica si rivelerebbe vantaggioso nel tempo da un punto di vista economico. Questo potrebbe convincere persone indecise nell'acquisto di tali macchine a causa del loro elevato prezzo di vendita. Tuttavia, questo prezzo sta gradualmente scendendo nel tempo.



Negli ultimi posti abbiamo macchine di lusso e sportive. Addirittura, Bugatti e Vector causerebbero una perdita di oltre 10.000 euro. Le macchine sportive hanno un'autonomia molto bassa, e quindi rimangono appannaggio di pochi che se le possono permettere, i quali probabilmente non hanno bisogno di preoccuparsi dei prezzi.

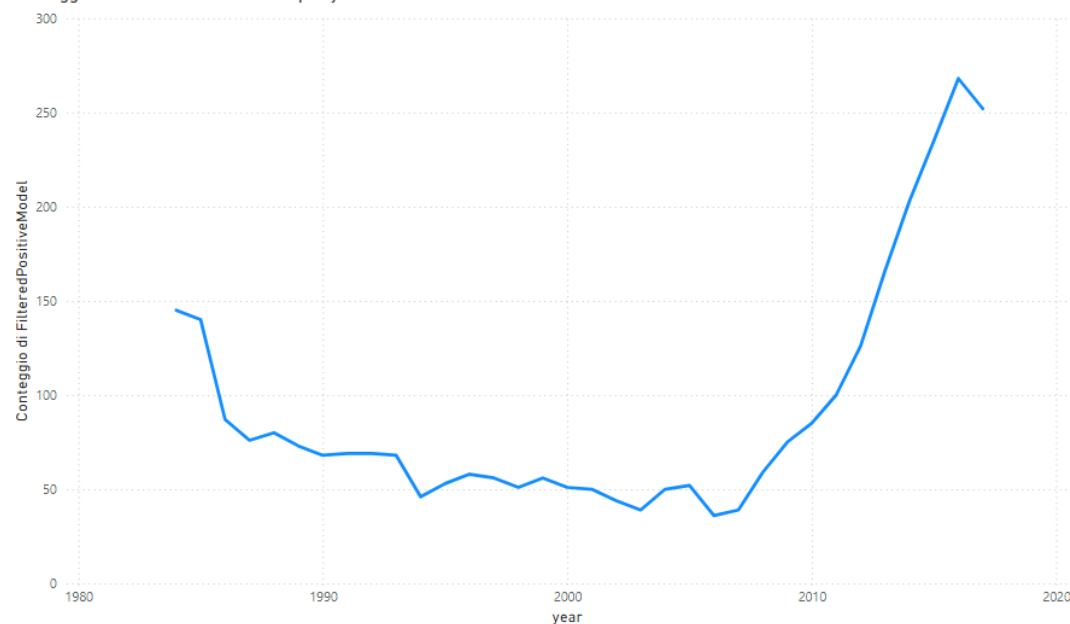
Istogramma di save_or_spend_5_year



Consideriamo un istogramma, che calcola la frequenza dei valori di save or spend 5 years, per ogni macchina del dataset. Si arriva circa a 40.000 valori.

La media è -2640 euro e la deviazione standard è 2270 euro. La curva segue una distribuzione normale, e la maggior parte delle macchine causano una perdita di 2640 euro.

Conteggio di FilteredPositiveModel per year



Estraendo solamente i modelli positivi che in 5 anni comportano un risparmio, e inserendoli in una serie temporale, notiamo che dal 2008 al 2018 c'è stato un ripido aumento di modelli che causano un risparmio. Possiamo ricavare due informazioni:

1. Grazie alle ricerche che si stanno facendo attualmente per migliorare l'autonomia e la produzione di emissioni, modelli progettati più recentemente comportano più probabilmente un risparmio sul carburante in cinque anni rispetto alla nuova macchina media.
2. Le ricerche sul miglioramento dell'autonomia stanno facendo progressi rapidissimi, e non accennano a diminuire. Con questo, si prospetta un futuro promettente sulla riduzione di emissioni, tramite una gestione più efficiente del carburante e la diffusione di motori elettrici sempre più efficienti e accessibili.

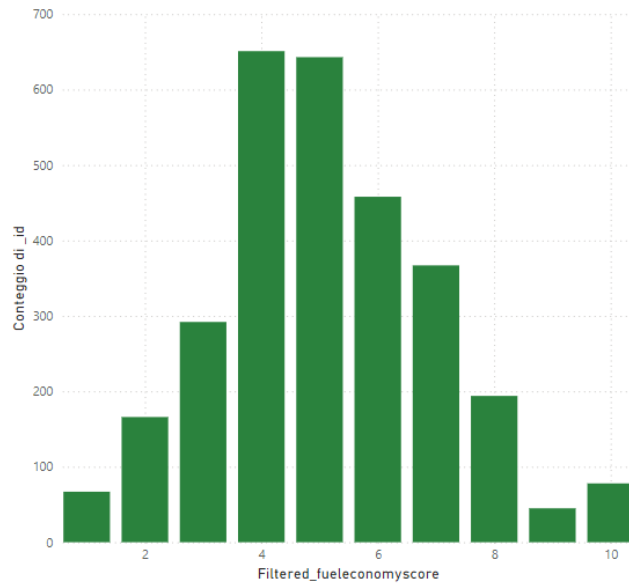
ghg score e fueleconomyscore

Il punteggio Greenhouse Gas (GHG) riflette le emissioni di biossido di carbonio (CO₂) provenienti dal tubo di scarico di un veicolo, che è il gas serra più prevalente. Le emissioni di CO₂ costituiscono tipicamente il 99% delle emissioni di gas serra dal tubo di scarico. I veicoli che ottengono un punteggio di dieci hanno le emissioni più pulite. Tuttavia, è importante notare che questa valutazione considera solo ciò che esce dal tubo di scarico durante l'uso del veicolo e non tiene conto direttamente delle emissioni generate durante la produzione del carburante utilizzato per alimentare il veicolo. [14]

D'altro canto, Fuel Economy Score stima quanti chilometri per litro può raggiungere un'auto durante i viaggi in città o in autostrada. Fornisce informazioni sull'efficienza del carburante di un veicolo. [15]

Mentre il punteggio GHG si concentra sulle emissioni, il punteggio di economia del carburante considera il consumo totale di carburante e l'efficienza generale.

Conteggio di _id per Filtered_fueleconomyscore



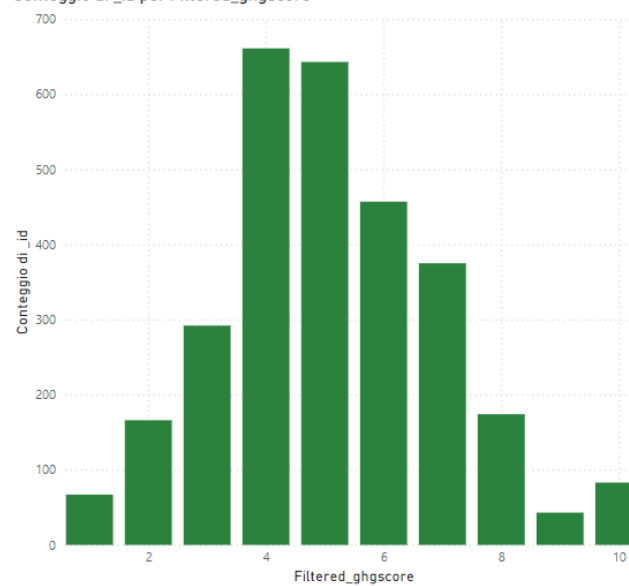
5,26160

Media di Filtered_fueleconomyscore

1,87598

Deviazione standard di Filtered_fueleconomyscore

Conteggio di _id per Filtered_ghgscore



5,25752

Media di Filtered_ghgscore

1,87703

Deviazione standard di Filtered_ghgscore

Osserviamo gli istogrammi che mostrano la distribuzione dei voti sia di fuel economy score che di ghg score.

Per quanto riguarda il grafico di ghg score, si ha:

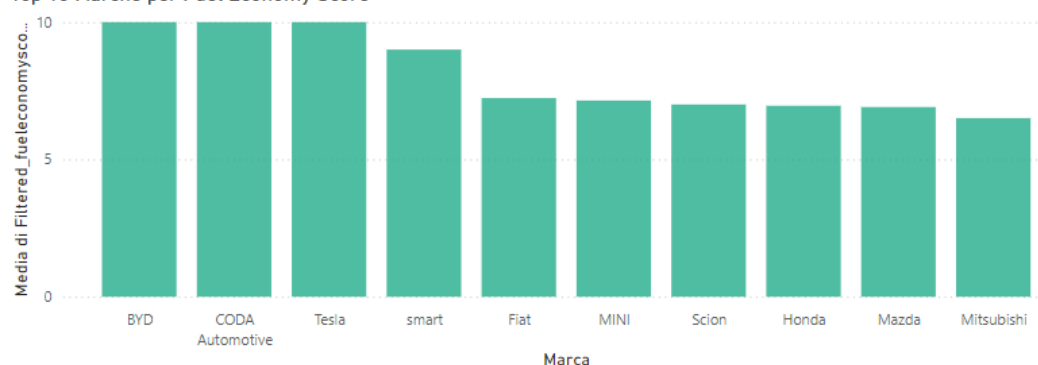
5,25752 di media e 1,87703 di deviazione standard.

Mentre si ha per il grafico di fuel economy score:

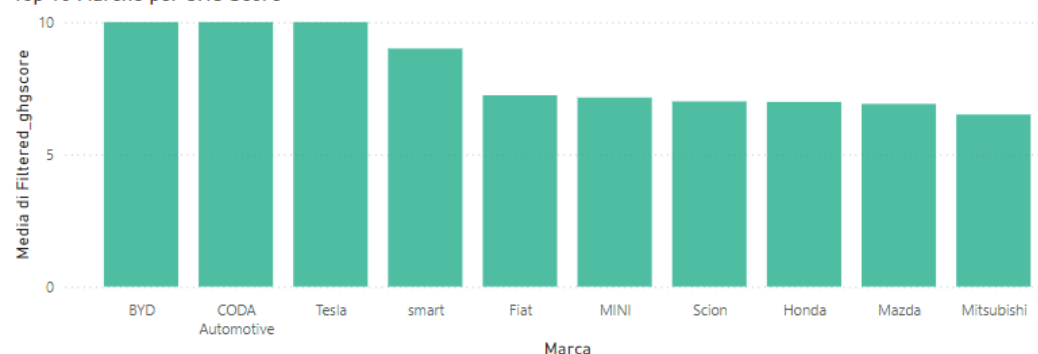
5,26160 di media e 1,87598 di deviazione standard.

Le due curve che si vengono a creare dalle distribuzioni normali dei grafici in figura sono quindi sovrapponibili, con una differenza trascurabile. I due score, quindi, sono equivalenti. Da qui possiamo notare che allora c'è una forte correlazione tra 'consumo totale di carburante' e 'produzione di emissioni'. Mentre un veicolo con alta autonomia produrrà un minor numero di emissioni, un veicolo con bassa autonomia ne produrrà un numero maggiore.

Top 10 Marche per Fuel Economy Score

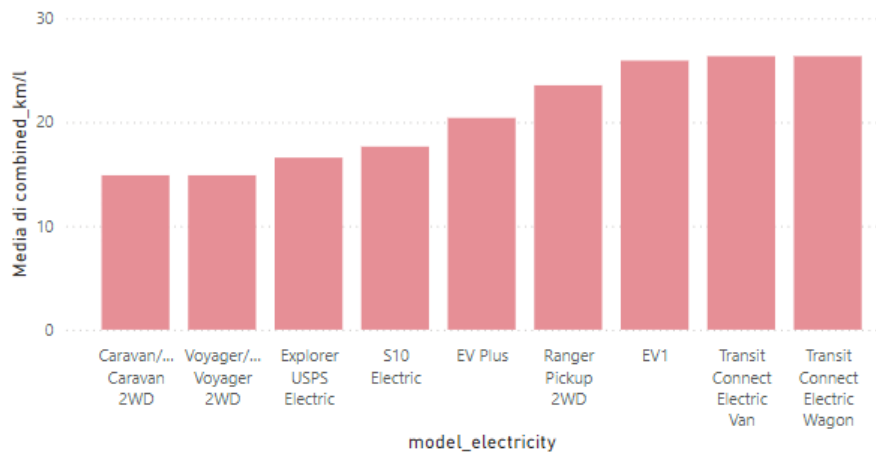


Top 10 Marche per GHG Score

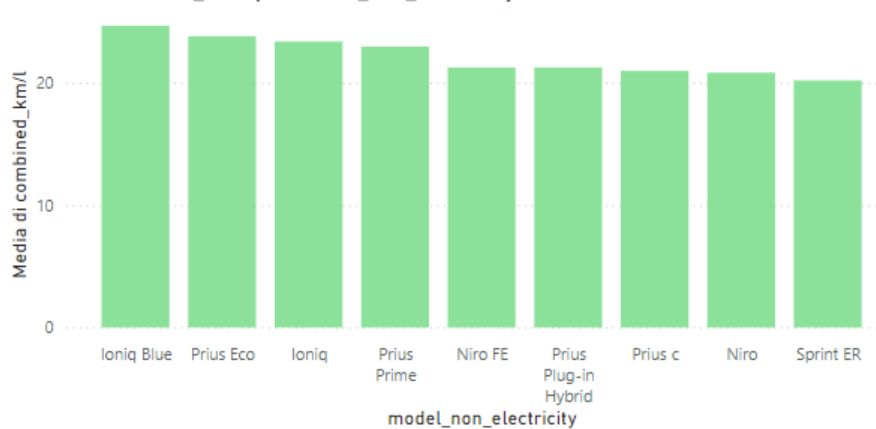


I grafici di top dieci delle aziende in base a fuel economy score e ghg score sono equivalenti. Le posizioni sono le stesse del primo grafico in assoluto che abbiamo visto, dove come metodo di valutazione si considerava l'autonomia, ovvero il numero di km percorsi con un litro di carburante.

Media di combined_km/l per model_electricity



Media di combined_km/l per model_non_electricity



Consideriamo i 10 peggiori modelli elettrici, e i 10 migliori modelli non elettrici dal punto di vista dell'autonomia.

Possiamo fare delle osservazioni:

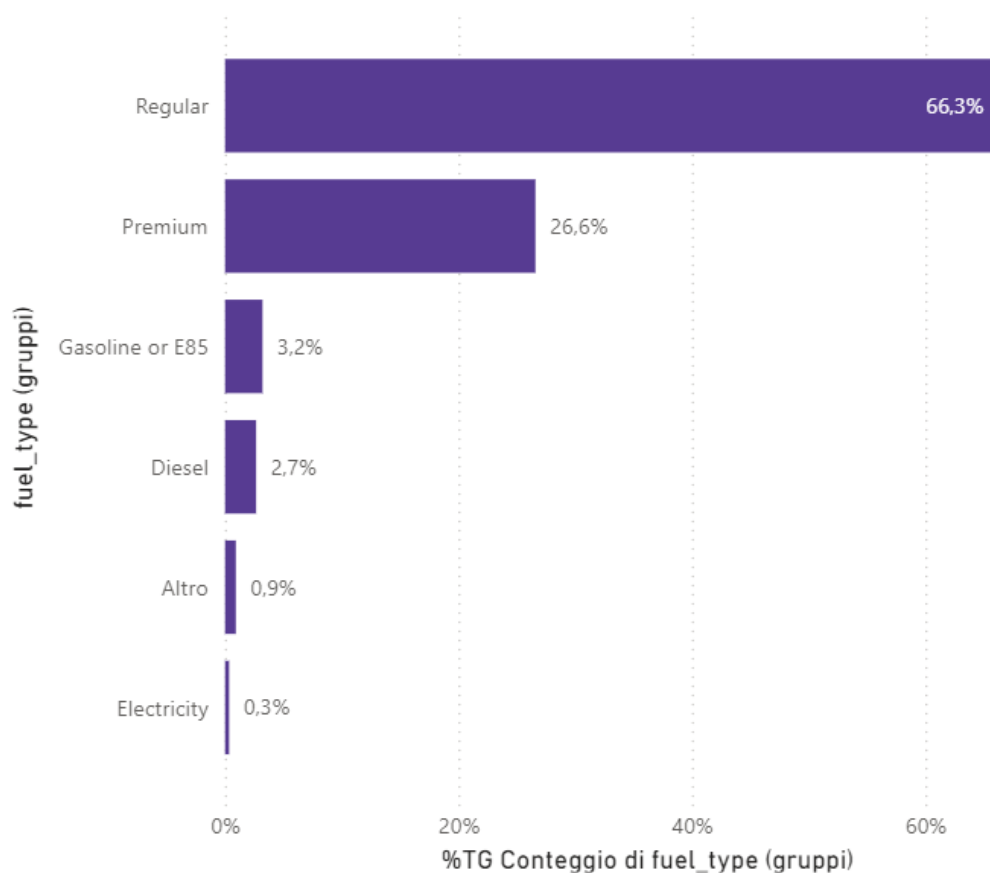
- I 10 peggiori modelli elettrici sono tutti stati prodotti una decina di anni fa, quando il motore elettrico non era ancora troppo efficiente. Più avanti potremo infatti osservare un grafico che mostra i miglioramenti dell'elettrico nel corso del tempo. Per concludere, i modelli elettrici recenti hanno invece un'autonomia estremamente più alta, e battono anche i 10 migliori modelli non elettrici;
- I 10 migliori modelli non elettrici sono tutti modelli ibridi. Quindi, nonostante l'elettricità non sia il tipo di carburante primario, tali modelli beneficiano notevolmente dall'utilizzo dell'elettrico.

Negli Stati Uniti, esistono tre tipi principali di benzina: Regular, Medium e Premium, che si distinguono principalmente per il numero di ottani e il prezzo. Il diesel è raro e più

costoso, mentre l'E85 è una miscela composta per l'85% da etanolo e per il 15% da benzina.

La benzina normale ha un numero di ottani più basso ed è meno costosa, adatta per la maggior parte delle auto standard. La benzina Premium, con un numero di ottani più alto, è raccomandata per veicoli ad alte prestazioni, offrendo migliori prestazioni a un costo maggiore. L'E85, una miscela di etanolo e benzina, ha un numero di ottani molto elevato ed è usata principalmente in veicoli Flex-Fuel; è più economica ma meno efficiente, sebbene più ecologica grazie al minore impatto ambientale. [16]

%TG Conteggio di fuel_type (gruppi) per fuel_type (gruppi)



Dal grafico possiamo osservare che, per le 38000 ca. macchine del dataset americano, il 66% utilizzano Regular, il 26% Premium, mentre il 3,2% E85, 2,7% IL Diesel, e solo lo 0,3% l'elettrico.

Distribuzione delle preferenze di carburante:

- **Benzina Regular (66%):** La maggior parte delle auto nel dataset utilizza benzina normale, definita come benzina senza piombo ad 87 ottani. È la più diffusa nel mondo, è meno costosa ed è compatibile con quasi tutti i motori standard.
- **Benzina Premium (26%):** La benzina Premium ha tipicamente 89 ottani ed è raccomandata per veicoli ad alte prestazioni, come ad esempio auto di lusso. In alcuni casi è necessaria, spesso in presenza di turbocompressori. Altri motori invece ne raccomandano l'uso, senza che sia obbligatorio. Migliora le prestazioni ad un costo maggiore. [16]
- **E85 (3,2%):** Corrisponde ad una miscela di etanolo e benzina, con il maggior numero di ottani, tra 91 e 94. È usata principalmente in veicoli Flex-Fuel; è più economica ma meno efficiente, sebbene più ecologica grazie al minore impatto ambientale. [17]
- **Diesel (2,7%):** Il diesel è utilizzato da una piccola percentuale di veicoli, in quanto è raro e più costoso in negli Stati Uniti.
- **Elettrico (0,3%):** L'adozione di veicoli elettrici è molto bassa: i principali fattori contribuenti sono il costo d'acquisto relativamente alto dei veicoli elettrici, la disponibilità inferiore delle infrastrutture di ricarica e la mancanza di consapevolezza dei benefici economici a lungo termine dei motori elettrici da parte dei consumatori.

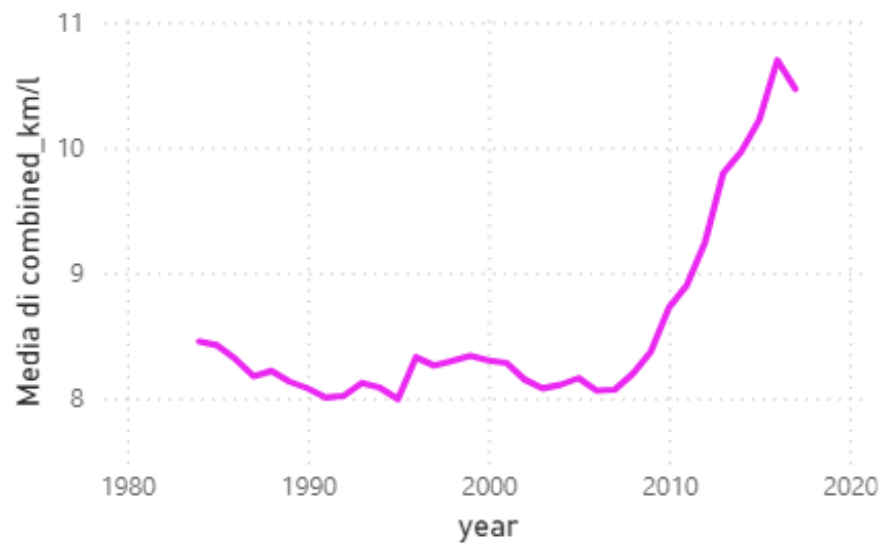
Le implicazioni economiche relative alla preferenza per la benzina regular sono principalmente legate al suo costo inferiore rispetto alla benzina premium, rendendola più accessibile per la maggior parte degli automobilisti. I veicoli che utilizzano benzina premium possono avere costi di manutenzione più elevati, ma i proprietari accettano di pagare di più per mantenere le prestazioni del motore.

Dal punto di vista ambientale, sebbene solo una piccola percentuale di veicoli utilizzi E85 e diesel, questi carburanti hanno diverse implicazioni ecologiche. L'E85 può ridurre le emissioni di CO₂, mentre il diesel, pur essendo più efficiente in termini di consumo di carburante, può emettere più particolato e NO_x. L'adozione molto bassa di veicoli elettrici segnala che c'è ancora un lungo percorso verso una mobilità più sostenibile. Incentivi governativi, miglioramenti nelle infrastrutture di ricarica e riduzioni dei costi delle batterie potrebbero favorire un aumento della percentuale di veicoli elettrici in futuro.

La distribuzione attuale dei tipi di carburante potrebbe cambiare con l'aumento della consapevolezza ambientale, regolamenti più severi sulle emissioni e innovazioni tecnologiche. È previsto che la quota di veicoli elettrici aumenti nei prossimi anni. La

disponibilità di stazioni di rifornimento per E85 e infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici potrebbe influenzare significativamente le scelte future dei consumatori.

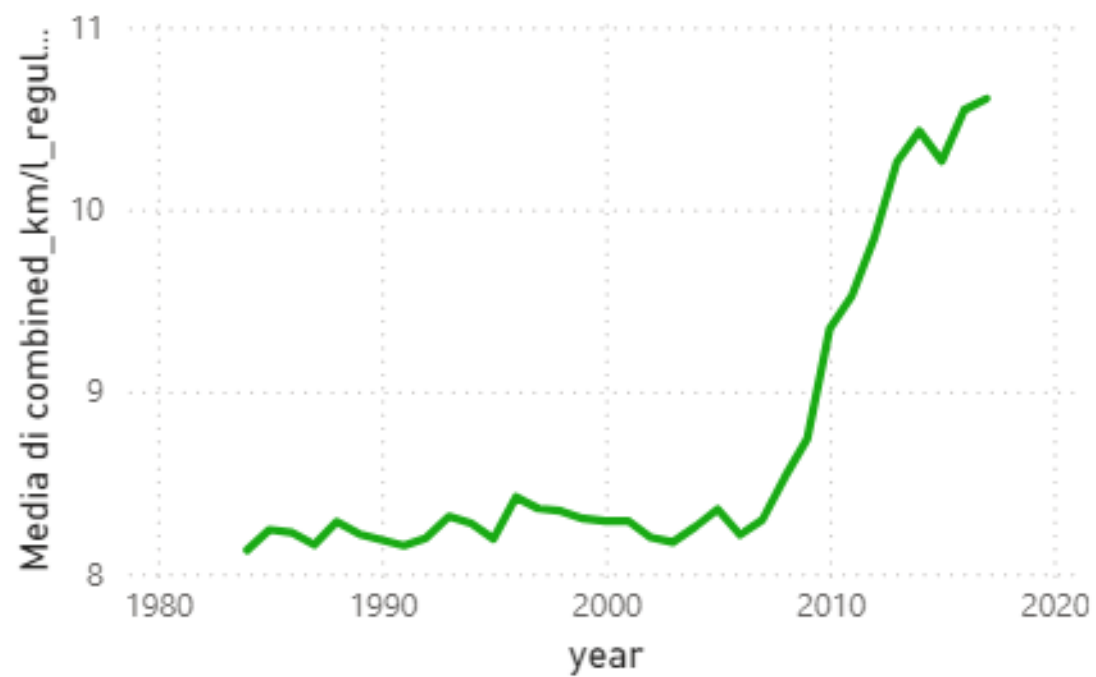
Media di combined_kml per year



Media di combined_kml_premium per year



Media di combined_km/l_regular per year



Media di combined_km/l_gasoline per year



Media di combined_km/l_diesel per year



Media di combined_km/l_electricity per year



Serie temporali sul cambiamento dell'autonomia sei grafici

Grafico 1: Media di Combined_km/l per Year

- **Trend:** L'andamento mostra un miglioramento significativo dell'efficienza del carburante a partire dal 2005.
- **Motivazioni e Fatti:**

- **Normative Ambientali:** A partire dal 2005, molte nazioni hanno implementato normative più severe sulle emissioni e l'efficienza dei carburanti. Ad esempio, negli Stati Uniti, il CAFE (Corporate Average Fuel Economy) ha imposto standard più rigorosi.
- **Adozione di Tecnologie Ibride ed Elettriche:** La crescita delle tecnologie ibride e l'introduzione dei veicoli elettrici hanno contribuito ad aumentare l'efficienza media.
- **Innovazioni Tecnologiche:** Miglioramenti nei motori a combustione interna, aerodinamica del veicolo, e tecnologie di riduzione del peso hanno incrementato l'efficienza del carburante.

Grafico 2: Media di Combined_mpg_regular per Year

- **Trend:** Incremento costante dell'efficienza a partire dal 2005.
- **Motivazioni e Fatti:**
 - **Miglioramenti nei Motori:** L'introduzione di motori a iniezione diretta, sistemi start-stop e altre tecnologie ha aumentato l'efficienza.
 - **Carburanti a Basso Zolfo:** L'introduzione di carburanti a basso contenuto di zolfo ha migliorato l'efficienza dei veicoli.
 - **Aumento della Competizione:** Le case automobilistiche hanno spinto per migliorare l'efficienza dei veicoli per rimanere competitive sul mercato.

Grafico 3: Media di Combined_mpg_diesel per Year

- **Trend:** Variazione altalenante con picchi intorno al 2000.
- **Motivazioni e Fatti:**
 - **Dieseldate:** Il picco e la successiva diminuzione dopo il 2000 possono essere attribuiti allo scandalo Dieseldate, che ha portato a una riduzione della fiducia e della domanda per i veicoli diesel.
 - **Normative Sulle Emissioni:** Le normative europee Euro 4 e successive hanno imposto limiti più severi sulle emissioni dei motori diesel, riducendo temporaneamente l'efficienza mentre le tecnologie si adattavano.
 - **Tecnologie di Riduzione delle Emissioni:** L'adozione di filtri antiparticolato e sistemi di riduzione catalitica selettiva (SCR) ha influito sull'efficienza.

Grafico 4: Media di Combined_mpg_premium per Year

- **Trend:** Miglioramento significativo a partire dal 2000.
- **Motivazioni e Fatti:**
 - **Prestazioni ed Efficienza:** I veicoli premium tendono a combinare prestazioni elevate con tecnologie avanzate per l'efficienza del carburante.
 - **Sviluppo di Motori Turbo:** L'adozione di motori turbo più piccoli ma potenti ha migliorato l'efficienza.
 - **Materiali Leggeri:** L'uso di materiali leggeri come l'alluminio e la fibra di carbonio nei veicoli premium ha ridotto il peso e migliorato l'efficienza del carburante.

Grafico 5: Media di Combined_mpg_gasoline per Year

- **Trend:** Andamento ondulato con miglioramenti significativi dopo il 2005.
- **Motivazioni e Fatti:**
 - **Crisi Petrolifere:** Gli shock dei prezzi del petrolio hanno spinto verso una maggiore efficienza del carburante.
 - **Innovazioni nei Carburanti:** L'introduzione di benzine con additivi migliorativi ha aiutato a migliorare l'efficienza dei motori a benzina.
 - **Normative Sulle Emissioni:** Regolamentazioni più severe hanno costretto i produttori a migliorare l'efficienza dei veicoli a benzina.

Grafico 6: Media di Combined_mpg_electricity per Year

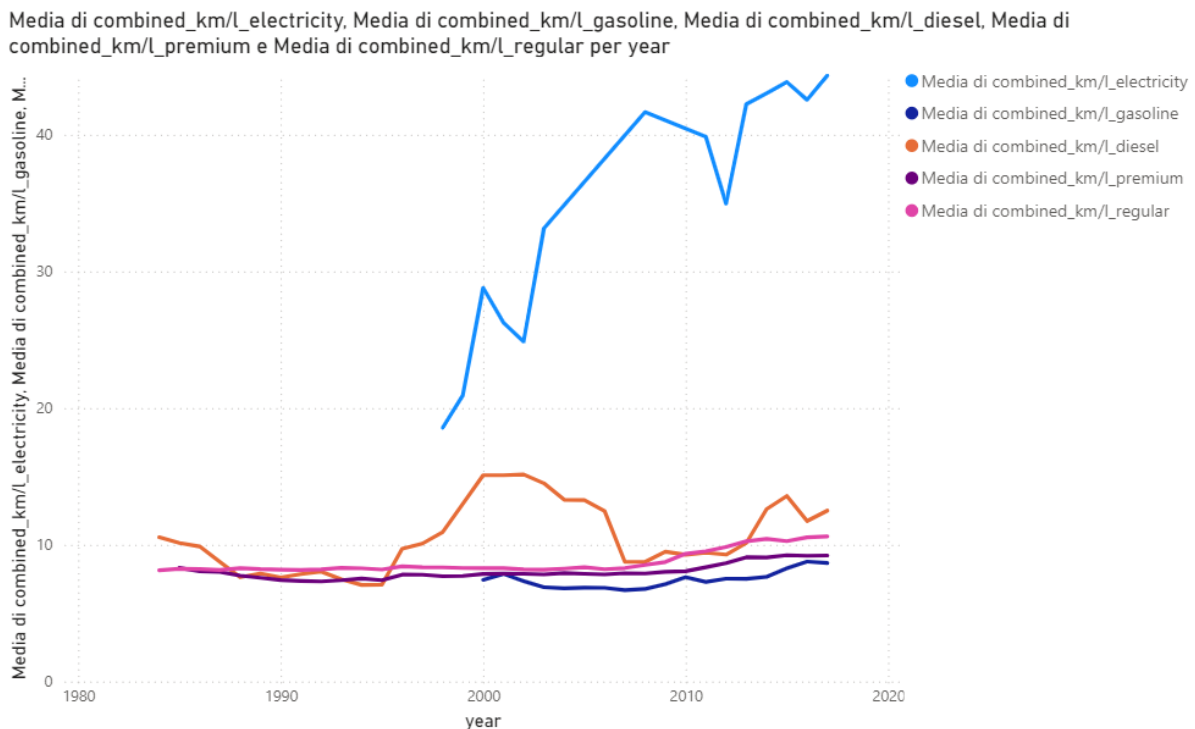
- **Trend:** Incremento costante e significativo dell'efficienza a partire dal 2000.
- **Motivazioni e Fatti:**
 - **Progresso nelle Batterie:** Gli avanzamenti nella tecnologia delle batterie, come l'adozione di batterie agli ioni di litio, hanno aumentato l'autonomia e l'efficienza.
 - **Adozione di Veicoli Elettrici:** L'aumento della produzione e vendita di veicoli elettrici ha migliorato l'efficienza media nel tempo.
 - **Investimenti nelle Infrastrutture:** Miglioramenti nelle infrastrutture di ricarica hanno incentivato l'adozione di veicoli elettrici più efficienti.

Confronto Complessivo

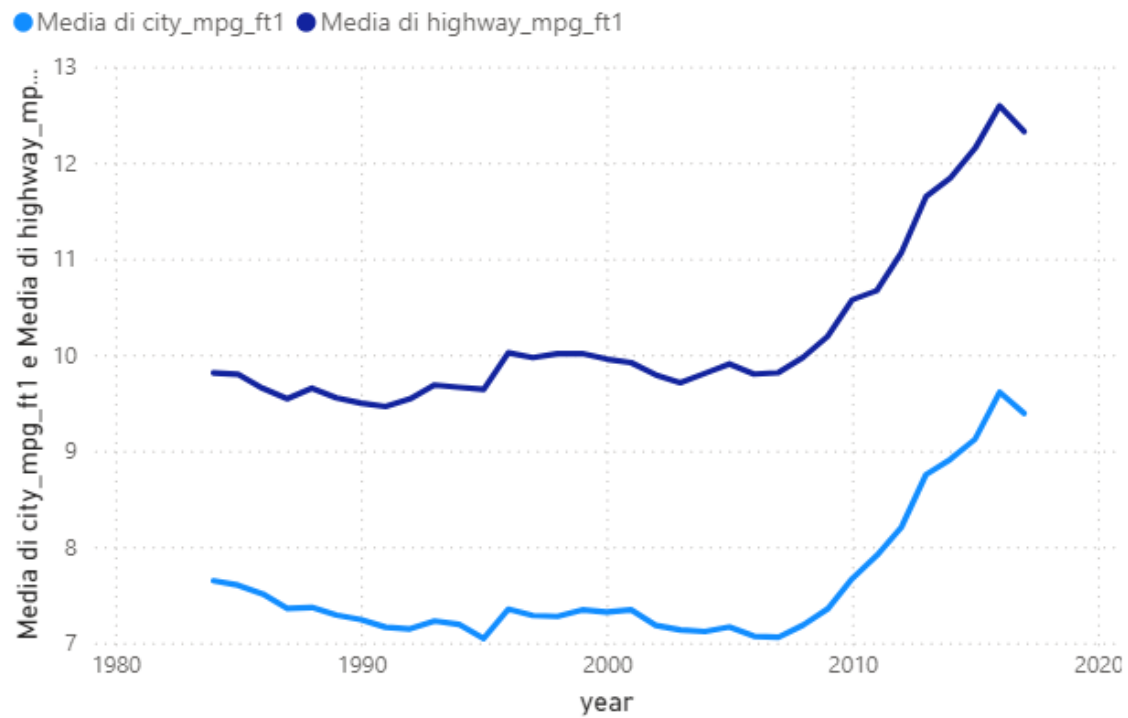
- **Efficienza del Carburante:** Tutti i tipi di carburante mostrano un trend di miglioramento dell'efficienza nel tempo, ma con vari gradi e motivazioni.

- **Punto di Svolta intorno al 2005:** Un punto di svolta comune è osservabile intorno al 2005, suggerendo un impatto significativo delle normative e delle innovazioni tecnologiche introdotte in quel periodo.
- **Miglioramenti nei Veicoli Elettrici:** I veicoli elettrici mostrano i miglioramenti più consistenti e rapidi, indicando un cambiamento significativo verso tecnologie più sostenibili.
- **Diversità nei Carburanti Tradizionali:** I carburanti tradizionali (benzina, diesel, premium) mostrano miglioramenti, ma sono influenzati da vari fattori come scandali (Dieselgate [18]), regolamentazioni, e innovazioni tecnologiche.

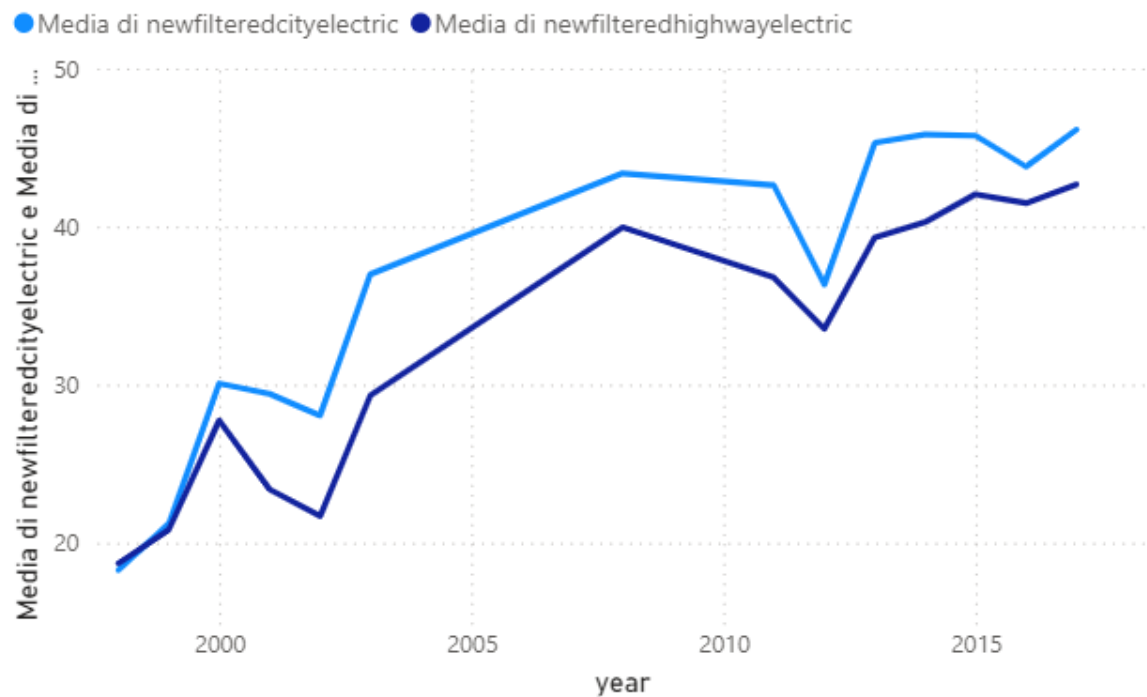
Tra tutti, l'elettrico è quello che ha fatto progressi più significativi, se comparato agli altri carburanti. Per rendere meglio l'idea della differenza, mostriamo un grafico che mette in evidenza tale differenza.



Media di city_mpg_ft1 e Media di highway_mpg_ft1 per year



Media di newfilteredcityelectric e Media di newfilteredhighwayelectric per year



È possibile notare la differenza tra l'autonomia in autostrada e in città. In autostrada, un'auto consuma meno carburante rispetto alla città perché mantiene una velocità costante, riducendo la necessità di accelerazioni e frenate frequenti. Questo permette al motore di operare in modo più efficiente e di sfruttare meglio l'aerodinamica del veicolo. Al contrario, nella guida cittadina, le continue partenze, fermate e variazioni di velocità aumentano il consumo di carburante.

È interessante come per le auto elettriche sia vero il contrario.

Per le auto elettriche, il consumo energetico tende ad essere più elevato in autostrada rispetto alla guida in città principalmente per due motivi:

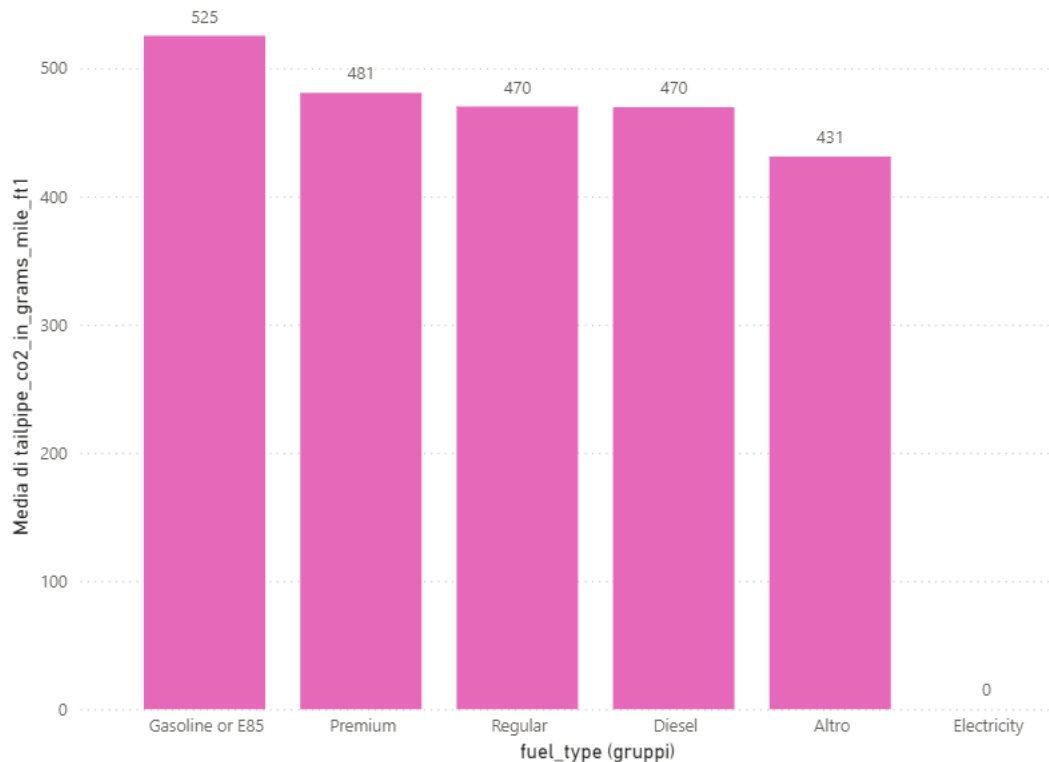
- **Velocità costante ed efficienza:** In città, le auto elettriche possono sfruttare al meglio la rigenerazione dell'energia durante le frenate e possono operare a velocità più basse, ottimizzando l'efficienza energetica.
- **Aerodinamica e velocità:** Sulla strada, il consumo energetico aumenta significativamente a causa della resistenza aerodinamica, che diventa più rilevante a velocità più elevate.

Le auto elettriche utilizzano il sistema di frenata rigenerativa per convertire l'energia cinetica delle frenate in energia elettrica che viene immagazzinata nelle batterie. Questo processo aiuta a ridurre il consumo di energia durante le fermate frequenti tipiche della guida urbana.

A velocità più elevate sull'autostrada, la resistenza aerodinamica diventa il principale fattore che influisce sul consumo di energia. L'aria che si muove intorno al veicolo crea una resistenza che richiede più energia per superarla. Le auto elettriche, come tutte le auto, devono superare questa resistenza per mantenere una velocità costante, aumentando così il consumo di energia.

Tutto ciò sottolinea l'importanza di considerare il tipo di guida e il contesto operativo quando si valuta l'efficienza complessiva delle auto elettriche.

Media di tailpipe_co2_in_grams_mile_ft1 per fuel_type (gruppi)



Le tailpipe emissions sono le emissioni di anidride carbonica (CO₂) prodotte direttamente dal tubo di scarico dei veicoli e si misurano in grammi di CO₂ per miglio. Più il valore è alto, e più il motore è inquinante. [19]

Si può osservare il grafico che mostra la quantità in grammi di CO₂/miglio di tailpipe emissions, calcolata come media rispetto a tutte le macchine che utilizzano lo stesso tipo di carburante.

Una macchina a E85 avrà un valore di 525, una a Premium di 481, mentre con Regular si ha 470, parimenti al Diesel con 470. Ovviamente le elettriche hanno valore 0.

- **Livello di emissione di CO₂:**

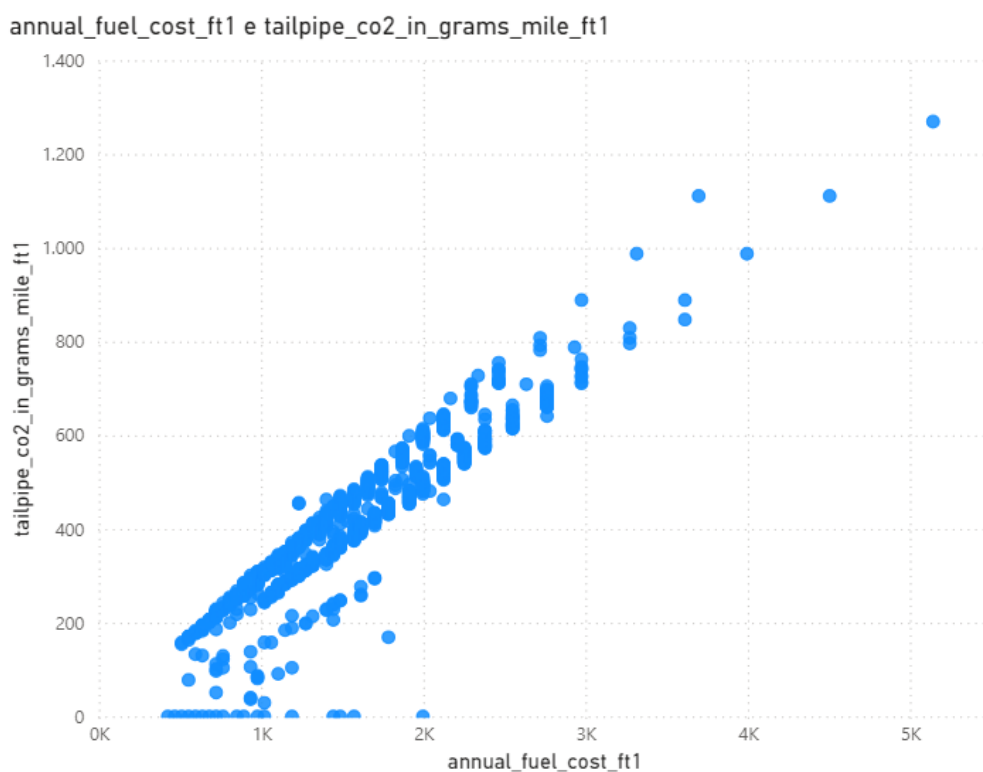
- Le auto a E85 hanno il valore più alto di 525 grammi di CO₂ per miglio.
- Le auto a Premium e Regular hanno valori leggermente inferiori, con 481 e 470 grammi di CO₂ per miglio rispettivamente. Hanno pertanto minore impatto sull'ambiente rispetto alle auto che utilizzano benzina premium o normale.

- **Confronto tra Diesel e Regular:**

- La differenza tra le emissioni di CO2 tra Premium e Regular è pressoché trascurabile: l'utilizzo di carburante Regular corrisponde solamente ad una riduzione del 2,3%.
- **Zero emissioni per le auto elettriche:**
 - Le auto elettriche hanno un valore di 0 grammi di CO2 per miglio, in quanto non ne producono durante il funzionamento.

I dati evidenziano chiaramente che, per ridurre le emissioni di CO2 dirette, le auto elettriche sono la scelta più vantaggiosa. Tuttavia, tra le opzioni a combustione interna, l'utilizzo di carburanti come E85, Premium o Regular può influenzare significativamente l'entità delle emissioni di CO2.

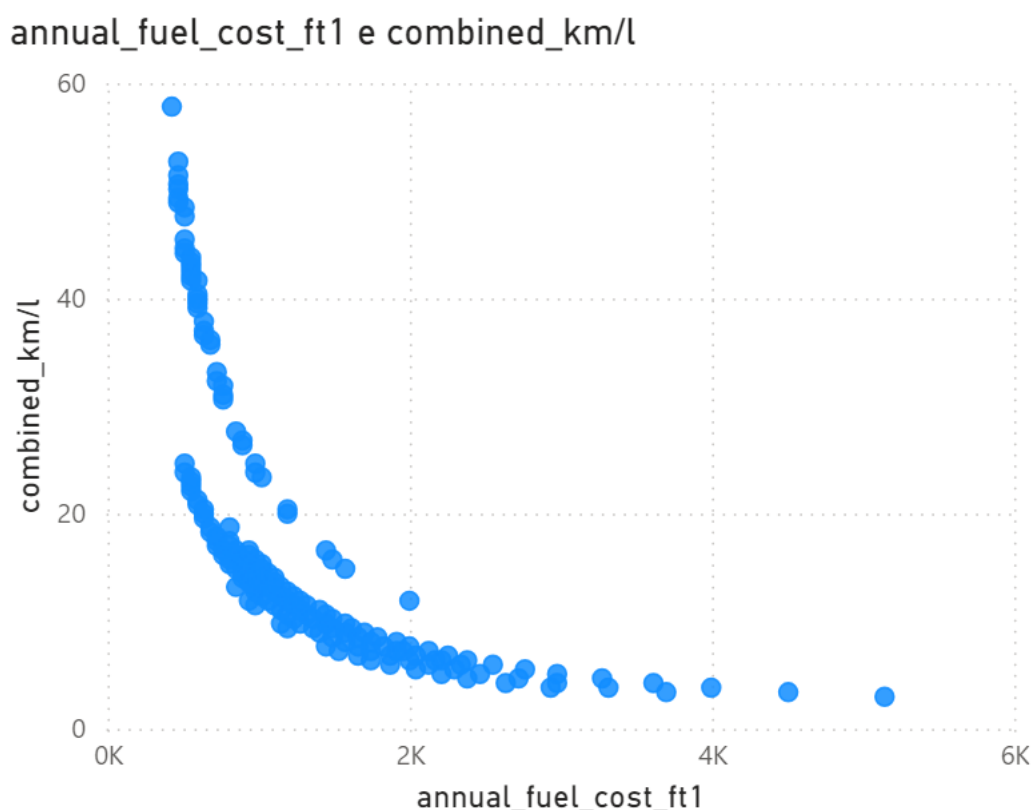
Questi dati sottolineano l'importanza di considerare non solo il consumo di carburante ma anche le emissioni di CO2 dirette quando si valuta l'impatto ambientale dei veicoli e si cerca di scegliere opzioni più sostenibili dal punto di vista climatico.



Il forte coefficiente di regressione lineare di 0,94 tra il costo annuale del carburante e le emissioni di CO2 suggerisce che i veicoli con un alto costo annuale di carburante tendono ad avere emissioni di CO2 più elevate. Questo significa che veicoli con un maggiore consumo di carburante, come benzina, diesel ed E85, emettono più CO2 durante la combustione, evidenziando l'importanza delle politiche di efficienza del

carburante per ridurre le emissioni di CO2 nel settore dei trasporti. Tuttavia, altri fattori come tecnologie di controllo delle emissioni, tipo di motore, peso e aerodinamica del veicolo possono anche influenzare le emissioni complessive di CO2.

Questi dati sottolineano la rilevanza delle politiche ambientali che promuovono l'adozione di veicoli più efficienti e a basse emissioni, come incentivi per veicoli elettrici e regolamenti sulle emissioni per i veicoli a combustione interna. È interessante notare un gruppo di veicoli con costo annuale di carburante diverso da zero ma con emissioni di CO2 pari a zero: le auto elettriche. Inoltre, un'altra linea sotto quella principale rappresenta le auto ibride, che combinano un costo annuale inferiore di carburante con emissioni ridotte.



L'analisi dello scatterplot che mette in relazione il costo annuale del carburante e l'autonomia (km/l) per circa 40.000 automobili mostra due osservazioni principali: l'andamento è curvilineo, suggerendo che il costo del carburante non diminuisce in modo costante con l'aumento dell'efficienza energetica, e ci sono due cluster distinti di punti, indicativi di due categorie principali di veicoli.

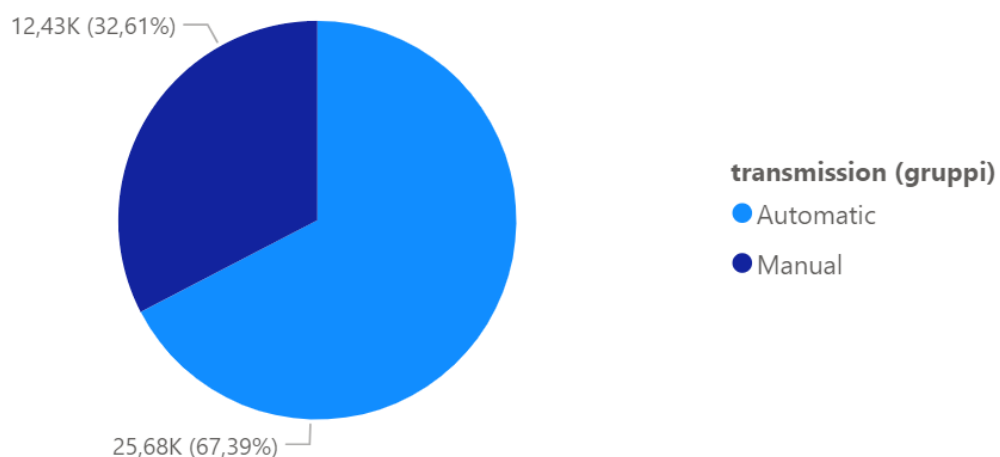
Questi due cluster possono essere interpretati come rappresentanti veicoli tradizionali a combustione interna e veicoli elettrici o ibridi. Il cluster superiore rappresenta veicoli tradizionali, che mantengono un costo del carburante relativamente alto anche con buona efficienza energetica, mentre il cluster inferiore rappresenta veicoli elettrici e

ibridi, caratterizzati da un costo del carburante molto più basso grazie alla maggiore efficienza e al costo inferiore dell'elettricità. Le auto con un costo annuale molto basso e alta autonomia sono probabilmente veicoli elettrici puri, mentre quelle con costi più alti ma buona autonomia sono veicoli ibridi. La distanza tra i cluster riflette le differenze nei sistemi di propulsione tra i veicoli tradizionali e quelli elettrici/ibridi.

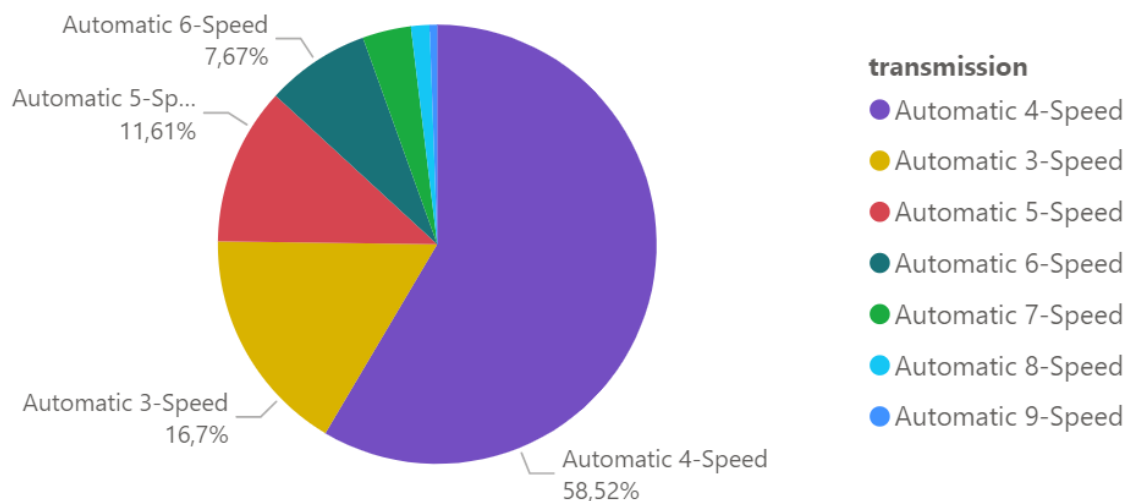
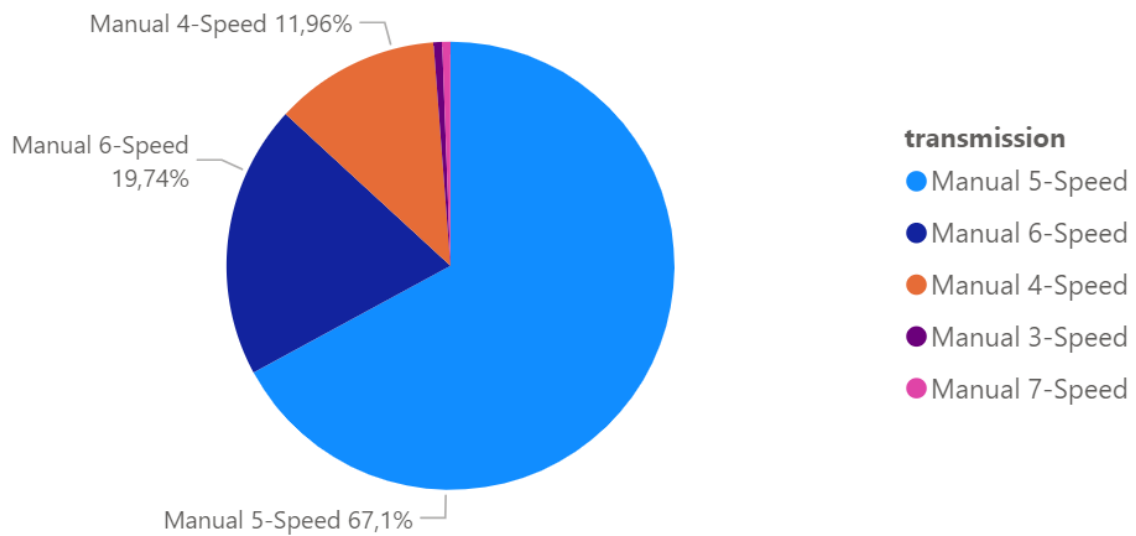
Questo scatterplot mostra come i veicoli con diverse tecnologie di propulsione si comportano in termini di costi del carburante ed efficienza energetica. La presenza di due cluster distinti suggerisce una significativa differenziazione tra veicoli a combustione interna e veicoli elettrici/ibridi, mentre l'andamento curvilineo conferma che i miglioramenti nell'efficienza energetica non si traducono in riduzioni lineari nei costi del carburante.

Trasmissioni

Per ogni veicolo abbiamo a disposizione anche il tipo di trasmissione. Verifichiamo quindi se il tipo di trasmissione influenza significativamente quanto una macchina sia inquinante.



Nel dataset che ci è stato fornito, il 33% di auto è a trasmissione manuale, mentre il 67% è a trasmissione automatica.



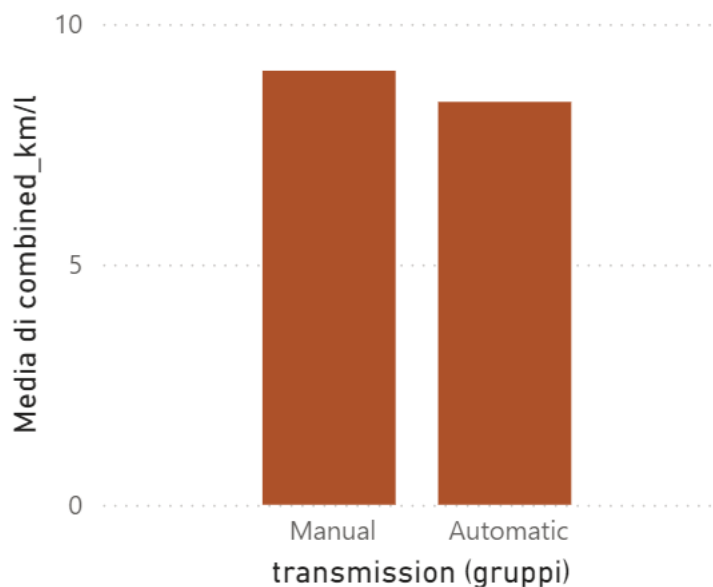
Possiamo osservare la distribuzione del numero di marce nei veicoli, che varia dalle 5 alle 7 per le auto con trasmissione manuale e dalle 4 alle 9 per quelle con trasmissione automatica.

La trasmissione manuale richiede che il conducente selezioni manualmente ogni marcia utilizzando una frizione e una leva del cambio. Le marce possono variare da 5 a 7 in base al modello e al design del veicolo. Il conducente deve coordinare il cambiamento di marcia per adattarsi alle condizioni di guida e alle necessità di potenza del veicolo. Il numero di marce influisce sull'accelerazione, l'efficienza del carburante e la maneggevolezza. Le auto con 5 marce offrono un buon equilibrio tra prestazioni e consumi, mentre quelle con 6-7 marce tendono a migliorare l'efficienza del carburante a velocità autostradali poiché il motore può girare a un regime più basso.

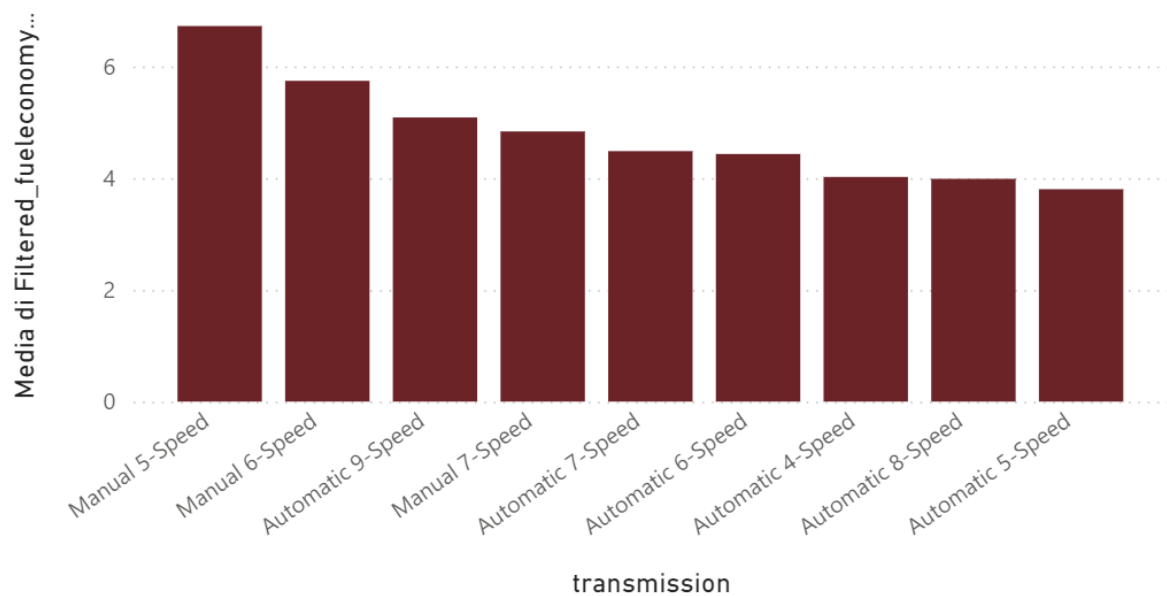
Le auto con trasmissione automatica cambiano le marce automaticamente senza l'intervento del conducente, utilizzando un sistema di ingranaggi planetari o altri dispositivi per selezionare la marcia più adatta in base alla velocità del veicolo e al carico del motore. Questo sistema offre comodità al conducente riducendo l'impegno richiesto durante la guida. Le auto con meno marce (4-6) potrebbero mostrare una leggera diminuzione dell'efficienza del carburante rispetto a quelle con più marce, soprattutto a velocità autostradali. Le auto con 7-9 marce tendono a migliorare l'efficienza del carburante e offrire una guida più fluida, adattandosi meglio alle variazioni di velocità e carico del motore.

La scelta del numero di marce in una trasmissione, sia manuale che automatica, influisce significativamente sulle prestazioni del veicolo e sull'efficienza del carburante, con un maggiore numero di marce che tende a migliorare l'efficienza a velocità autostradali e offre una guida più fluida.

Media di combined_km/l per transmission (gruppi)



Media di Filtered_fueleconomyscore per transmission



Notiamo che, in media, che una macchina sia automatica o manuale fa poca differenza sull'autonomia della macchina stessa. Per quanto riguarda l'inquinamento, il tipo di trasmissione e il numero di marce fanno poca differenza. Esistono quindi altri fattori che sono ben più significativi.

Il risultato osservato può essere attribuito a diversi fattori chiave. Le moderne tecnologie di controllo delle emissioni, come catalizzatori avanzati e sistemi di iniezione del carburante, sono efficaci nel ridurre le emissioni di inquinanti indipendentemente dal numero di marce o dal tipo di trasmissione. Le normative ambientali rigorose imposte in molti paesi hanno spinto i produttori di auto a sviluppare e implementare queste tecnologie per rispettare i limiti di emissioni, indipendentemente dalla configurazione del veicolo. Inoltre, la varianza significativa nei livelli di emissioni tra diversi modelli di auto all'interno dei dati può mascherare eventuali differenze associate al numero di marce o al tipo di trasmissione, complicando l'interpretazione diretta di tali dati.

Questo fenomeno sottolinea il progresso nell'ingegneria automobilistica verso veicoli più puliti ed efficienti, indipendentemente dalle caratteristiche specifiche della trasmissione.

CONCLUSIONI

Rispondiamo agli obiettivi che ci siamo posti.

1. L'azienda che produce le auto con maggior autonomia in assoluto è la Tesla. Le aziende che producono i veicoli con la maggior autonomia sono principalmente aziende che producono auto elettriche. Le auto elettriche arrivano ad avere un'autonomia cinque volte superiore rispetto alle macchine a benzina o diesel. Invece, in media, le auto ibride tendono ad avere un'autonomia due volte superiore rispetto alle macchine a carburante. Se si vuole la maggiore autonomia possibile, le macchine elettriche sono la prima scelta, se invece non si è pronti ad utilizzare macchine interamente elettriche, l'ibrido rappresenta una valida alternativa.
2. Il carburante che produce la quantità maggiore in grammi di CO₂/miglio di tailpipe emissions, in media, è E85. A seguire, benzina e diesel. L'elettrico non ne produce. Per ridurre significativamente l'impatto ambientale, è quindi consigliato l'utilizzo di un'auto elettrica, o almeno ibrida. Sono sconsigliate le auto di lusso che hanno spesso bisogno del carburante 'Benzina Premium', tra i più inquinanti.
3. Dal 1985 fino al 2017, l'autonomia delle macchine a carburante è rimasta pressoché simile senza significativi cambiamenti, ad eccezione di un momentaneo miglioramento del diesel nel 2000. Invece, l'elettrico è migliorato significativamente dal 1998 al 2017, sorpassando notevolmente il carburante.
4. Al giorno d'oggi le auto elettriche sono tra le più autonome e le più ecologiche. Tuttavia, un potenziale cliente potrebbe essere trattenuto da diversi svantaggi rispetto alle auto a carburante; In media, le auto elettriche hanno un prezzo di vendita superiore. Le pompe di ricarica elettrica sono meno diffuse rispetto ai distributori di benzina, soprattutto in paesi con meno abitanti. Le batterie devono essere ricaricate spesso, e a causa della loro capienza si rischia di rimanere senza energia se si decide di intraprendere un viaggio particolarmente lungo.

Queste 3 problematiche si stanno attenuando nel tempo: Il prezzo di vendita delle auto elettriche si sta abbassando sempre di più e come alternativa ci sono comunque auto compatte più economiche, i distributori elettrici si stanno diffondendo sempre di più, e la capienza massima delle batterie sta gradualmente aumentando.

Per questi motivi, si prevede che tra alcuni anni, le auto elettriche e ibride diventeranno l'alternativa migliore.

Fonti utilizzate

- [1]: [Getting Maximum Range \(tesla.com\)](https://tesla.com)
- [2]: [Tesla: cosa aspettarsi dalle batterie con celle 4680? - Tom's Hardware \(tomshw.it\)](https://tomshw.it)
- [3]: [Tesla Model S Plaid: un'aerodinamica più estrema per il record | Quattroruote.it](https://quattroruote.it)
- [4]: [Report: Tesla Model S/X upgrading to more efficient electric motors | Mashable](https://mashable.com)
- [5]: [Il motore a riluttanza: funzionamento e caratteristiche - epaddock.it](https://epaddock.it)
- [6]: [Symmetry | Free Full-Text | A Review of Advanced Cooling Strategies for Battery Thermal Management Systems in Electric Vehicles \(mdpi.com\)](https://mdpi.com)
- [7]: [Coda Automotive - Wikipedia](https://en.wikipedia.org)
- [8]: [Auto elettriche: BYD svela il suo propulsore ibrido con un'autonomia di oltre 2.000 km - greenMe](https://greenme.it)
- [9]: [Azure Transit Connect Electric - Wikipedia](https://en.wikipedia.org)
- [10]: [Smart EQ Fortwo: La recensione della citycar per eccellenza | GOcar.it](https://gocar.it)
- [11]: [Fiat Multipla 2025: ecco quanti cavalli e quanta autonomia - ClubAlfa.it](https://clubalfa.it)
- [12]: [Reasons to Buy a Station Wagon: A Practical Choice| Dubizzle](https://dubizzle.com)
- [13]: [Heavy truck information: cargo vans vs. pickup trucks | BadgerTruck](https://badgertruck.com)

- [14]: [What is my vehicle's greenhouse gas score? | HowStuffWorks](#)
- [15]: [Fuel economy in automobiles - Wikipedia](#)
- [16]: [Guide to different types of gasoline | JDPower](#)
- [17]: <https://familycation.it/fare-benzina-in-america/>
- [18]: [Dieselgate - Wikipedia](#)
- [19]: [Vehicle criteria pollutant \(PM, NOx, CO, HCs\) emissions: how low should we go? | npj Climate and Atmospheric Science \(nature.com\)](#)