

Le Frece

Iscriviti alla newsletter su www.lindau.it per essere sempre aggiornato su novità, promozioni ed eventi. Riceverai in omaggio un racconto in eBook tratto dal nostro catalogo.

In copertina: iStock - innni

© 2024 Lindau s.r.l.
via G. Savonarola 6 - 10128 Torino

Prima edizione: novembre 2024
ISBN 979-12-5584-179-1

Giancarlo Genta

AUTO ELETTRICA LA GRANDE ILLUSIONE





AUTO ELETTRICA
LA GRANDE ILLUSIONE

A Franca e Alessandro



Prefazione

Avendo per anni insegnato materie legate al mondo dell'automobile presso il Politecnico di Torino ed essendo stato per più di un decennio responsabile della scuola di ingegneria autoveicolistica, ho dovuto affrontare un numero infinito di discussioni sul tema dell'auto elettrica e soprattutto sulla necessità di passare dall'impostazione tecnica tradizionale, basata sul motore termico, a una completamente nuova, in cui i veicoli sono azionati da motori elettrici.

Le discussioni in merito si fanno spesso accese, perché il tema «automobile» suscita forti passioni in quel mondo fatto di tecnici, appassionati, entusiasti, ma anche di scettici, detrattori e nemici giurati, che spesso vedono nella tecnologia in generale e in quella autoveicolistica in particolare una sorta di peccato originale dell'Occidente moderno.

Quando l'amico Ezio Quarantelli, direttore editoriale di Lindau, mi ha chiesto di scrivere un breve libro sull'auto elettrica, non tanto dal punto di vista tecnico, quanto da quello della possibilità (o della necessità) che una gran parte del parco circolante venga sostituito in tempi più o meno rapidi da veicoli elettrici, sono immediatamente saltato sulla ghiotta opportunità. Era infatti l'occasione per riordinare le mie idee sull'argomento e di raccogliere in forma sistematica

cose che avevo detto per anni a studenti, colleghi e tecnici dell'industria.

In modo alquanto sornione Ezio mi ha immediatamente suggerito un titolo, ovviamente adeguato a un taglio polemico e «panflettistico»: «L'auto elettrica: la grande truffa».

Ragionandoci sopra ho trovato che il titolo era ingeneroso verso i molti che, in buona fede, si fanno illusioni sull'auto elettrica. Non c'è dubbio che non tutti coloro che la sostengono, o che caldeggiavano la transizione verso energie più pulite, siano in buona fede: ci sono troppi interessi di ogni genere e c'è chi gioca sporco, molto sporco. Basta pensare che anche le grandi organizzazioni criminali si sono buttate su questo settore, e nell'economia verde, così come nell'economia *woke*, c'è di tutto.

Tuttavia per i molti che sono in buona fede l'auto elettrica esercita un fascino potente: promette una mobilità pulita senza rinunciare alle prestazioni (soprattutto in accelerazione, data la coppia molto elevata garantita dal motore elettrico), una tecnologia all'avanguardia senza che venga meno la nostalgia rétro delle auto elettriche di inizio '900 (magari ricordando l'auto disegnata da Walt Disney per Nonna Papera, ecologista *ante litteram*), l'utopia dell'elettificazione di leniniana memoria, senza rinunciare al comfort borghese.

E così il popolo «ecologico-progressista», sia in senso politico che in quello degli amanti delle nuove tecnologie, internet e social networks in testa (i cosiddetti «nerd»), ha trovato il veicolo dei suoi sogni, soprattutto se abbastanza ricco da poterselo permettere. Ci si sente così a posto con la propria coscienza ambientalista, si dà sfogo al proprio «diritto al lusso» e ci si distingue dalla massa che non ha ancora maturato la coscienza necessaria per salvare il mondo.

Peccato però che le cose non funzionino così.

In realtà, il veicolo elettrico non è né l'unica né la migliore soluzione ai problemi che affliggono il nostro modello di mobilità e anzi, mentre promette di migliorare le cose, rischia addirittura di peggiorarle. Come in tutti i problemi complessi, non esistono soluzioni che siano «la migliore possibile» in tutte le situazioni, ma è giocoforza perseguire una gamma di soluzioni che possono rivelarsi particolarmente adatte alle varie situazioni.

Nell'ultimo secolo e mezzo l'auto elettrica già una volta ha suscitato grandi speranze per poi venire abbandonata: è importante imparare la lezione e non rincorrere utopie, che si rivelerebbero presto illusioni.

Infatti, più che una truffa, l'auto elettrica si rivela un'illusione, come sempre avviene quando si cerca una soluzione semplice e immediata a problemi complessi.

In particolare bisogna evitare di puntare a scorciatoie, individuando una soluzione che appare ideale e cercando di imporla per legge, nel tentativo di forzare transizioni senza dare il tempo alla tecnologia di maturare e identificare le soluzioni più idonee. La possibilità di imporre in tempi brevi le auto elettriche come soluzione di massa rischia di rivelarsi una «grande illusione», che verrà pagata a carissimo prezzo soprattutto dall'industria europea e quindi dalle classi meno agiate e da un ceto medio in via di progressivo impoverimento.

In questo breve saggio si tenterà di fare il punto sulla possibilità della transizione verso la mobilità elettrica, considerando costi e benefici e soffermandosi sulle possibili alternative. Poiché si tratta di un argomento controverso, si proverà a non lasciarsi troppo influenzare dalle molte voci in merito, talvolta in buona fede e talvolta dovute ai forti interessi in gioco, ma spesso comunque gridate e spacciate per verità quasi «rivelate», che suscitano entusiasmi al limite del fanatismo.



Dall'auto con motore a combustione interna all'auto elettrica

L'automobile, ovvero il veicolo che si muove da solo senza ricorrere alla forza muscolare di animali (o dell'uomo), è un sogno antico. Non è un caso che le prime predizioni inequivocabili della sua fattibilità grazie alla scienza e alla tecnologia (e non alla magia) e i primi disegni datino al tardo Medioevo¹, quando la civiltà occidentale iniziò a sviluppare una tecnologia non più soltanto empirica, ma basata sulla scienza.

I problemi che si frapponivano tra questo sogno e la sua realizzazione pratica erano molti, ed era necessario che la tecnologia scientifica facesse ancora parecchi passi avanti, in particolare per quanto riguarda lo sviluppo di un adeguato sistema di propulsione. La prima idea che venne avanzata fu utilizzare una sorta di mulino a vento per generare la potenza necessaria, ma la sua realizzabilità, almeno con le tecnologie di allora, era impossibile. Più successo ebbe il tentativo di costruire un veicolo a vela su ruote, a imitazione di quanto si faceva in campo nautico. Tra le altre idee che

¹ Ci si riferisce qui alle parole di Ruggero Bacone (1220-1292), ai disegni di carri a vento di Guido da Vigevano (1280-1349), e ai successivi teatri di macchine.

furono tentate, si può citare quella di utilizzare un sistema di molle, ma non si riuscì a realizzare veicoli meccanici che riuscissero davvero a muoversi fino a quando non si fu in grado di sviluppare macchine termiche sufficientemente potenti e leggere.

Solo nella seconda metà del XIX secolo i vari problemi furono finalmente superati e la costruzione di veicoli semoventi divenne possibile. La progettazione si sviluppò secondo tre linee distinte e complementari: veicoli a vapore, veicoli con motori a combustione interna e veicoli elettrici². Per anni queste tre soluzioni continuarono a competere, con alterne vicende, su un mercato che pian piano si andava sviluppando e crescendo, sia pure lentamente.³

Le idee erano chiare sin dal primo momento: ciascuna delle tre soluzioni aveva i suoi pregi e i suoi difetti, e si adattava a una particolare nicchia del mercato. Per esempio, il motore a vapore e quello elettrico potevano avviare il veicolo da fermo ed essere collegati direttamente alle ruote, mentre il motore a combustione interna non solo aveva bisogno della frizione e di un cambio di velocità, con le difficoltà di guida conseguenti, ma doveva essere avviato a mano, usando una manovella. L'operazione di avviamento richiedeva una non trascurabile forza fisica e destrezza, per non parlare del pericolo di fratture alle braccia.

Il motore a vapore presentava il non piccolo inconveniente di richiedere tempi abbastanza lunghi per portare in pressione la caldaia, il che rendeva necessario pianificare in

²Una quarta via, quella dei veicoli ad aria compressa fu anche tentata, ma dopo un prototipo realizzato nel 1840, che per altro ebbe un certo successo tecnico, fu subito abbandonata.

³G. Genta, L. Morello, *L'automobile. Evoluzione di una tecnologia*, Edizioni ASI Service, Torino 2013.

anticipo gli spostamenti. Il motore a combustione interna ma anche quello a vapore necessitavano frequenti messe a punto e periodiche lubrificazioni, operazioni decisamente sporche per cui era necessaria attenzione e competenza. In compenso le batterie del veicolo elettrico dovevano essere ricaricate di frequente, erano molto pesanti e garantivano un'autonomia alquanto limitata.

Relativamente alle prestazioni, i tre sistemi grosso modo si equivalevano, con un certo vantaggio per il veicolo elettrico per quanto riguarda la velocità massima e talvolta l'accelerazione. A tale proposito si ricorda che i primi veicoli a stabilire un record di velocità su terra furono elettrici, seguiti da un veicolo con motore a vapore. Solo dal quarto record in poi (con un'eccezione nuovamente a favore di un veicolo a vapore), i veicoli con motore a combustione interna si affermarono.⁴

Bisogna considerare la profonda differenza tra l'Europa e gli Stati Uniti. Nel vecchio continente, gli autoveicoli erano una sorta di «giocattolo» per ricchi un po' esibizionisti e soprattutto in cerca di forti emozioni, mentre chi doveva viaggiare usava il treno o altri mezzi pubblici, generalmente carrozze a cavalli⁵. Tuttavia, le auto elettriche erano presenti anche in Europa (fig. 1).

⁴G. Genta, M. Grandi, L. Morello, *La più veloce. Breve storia dei record mondiali di velocità su strada*, Libreria Automotoclub Storico Italiano, Torino 2017.

⁵In realtà i più ricchi possedevano carrozze private e cavalli, o addirittura vagoni ferroviari privati che venivano agganciati ai treni in servizio pubblico.



Fig. 1. Nel 1884 l'inglese Thomas Parker costruì la prima auto elettrica europea dotata di batterie ricaricabili e prodotta in serie (vedi <https://elettronauti.it/storia-auto-elettrica-parte-1/>)

In America, al contrario, le maggiori distanze e il fatto che molti vivessero in località isolate, portò l'automobile a sostituire i cavalli da sella e i veicoli trainati da animali di proprietà privata come vero e proprio mezzo di trasporto. Molti contadini avevano una disponibilità economica sufficiente ad acquistare un'automobile, con motore a combustione interna o a vapore, se dovevano percorrere distanze lunghe, o elettrico. In particolare molte donne iniziarono a guidare e le loro preferenze andavano soprattutto alle vetture elettriche, più silenziose, pulite e di facile guida (figure 2 e 3).

In generale, negli Stati Uniti, all'inizio del '900 le vendite erano equamente suddivise, con i veicoli elettrici, a vapore e con motore a combustione interna che occupavano circa un terzo del mercato ciascuno.

Un esempio di automobile elettrica di lusso è la Rauch & Lang Brougham del 1911, tanto nota da essere stata presa come modello da Walt Disney nel disegnare l'automobile di Nonna Papera. Pensata specificatamente per il pubblico femminile, poteva essere guidata sia dal posto anteriore che da quello posteriore, per compiere le retromarce; i sedili anteriori potevano essere orientati sia nel senso di marcia che in quello contrario, per facilitare la conversazione (figura 2).

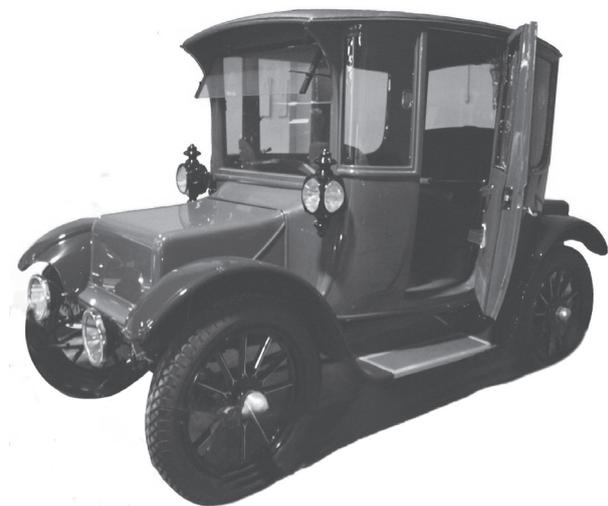


Fig. 2. La Rauch & Lang Brougham del 1911 è un esempio di vettura elettrica di lusso per impiego prevalentemente urbano (Museo dell'Automobile di Sacramento)

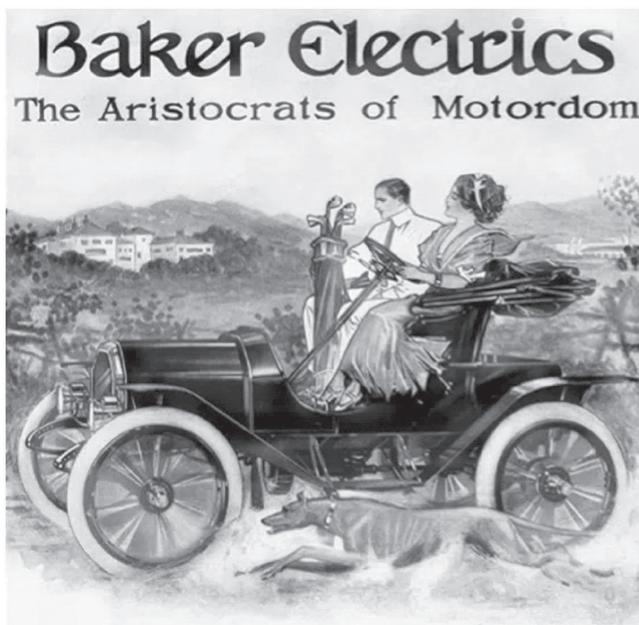


Fig. 3. Una pubblicità della Baker Electrics, la maggiore azienda costruttrice di veicoli elettrici negli Stati Uniti, a partire dal 1898. Da notare che la donna è al volante, mentre l'uomo è un passeggero.

Insieme alle auto elettriche si diffusero le colonnine di ricarica: quella della figura 4 era in grado di caricare le batterie di notte.

Per ovviare alla limitata autonomia delle auto elettriche, vi fu chi costruì vetture ibride, con motore a combustione interna e motori elettrici, magari posizionati direttamente nelle ruote come in figura 5.



Fig. 4. La vettura elettrica Columbia Mark 68 Victoria (del 1912) sta per essere ricaricata dalla sua proprietaria, presumibilmente nel garage di casa



*Fig. 5. Veicolo ibrido, realizzato da Ferdinand Porsche nel 1900
La versione qui presentata aveva i motori elettrici nelle sole ruote anteriori,
ma le versioni più complesse li potevano montare su tutte e quattro le ruote*

La complessità e il costo delle vetture ibride ne impedirono la diffusione e, con il diffondersi dei sistemi di avviamento elettrici sulle automobili con motore a combustione

interna, a partire dal 1912, e con la generale assuefazione al loro sistema di guida, negli Stati Uniti le vendite dei veicoli elettrici si ridussero via via.

In realtà i veicoli elettrici non scomparvero subito, ma per decenni vennero adibiti a usi di nicchia, dove avevano alcuni vantaggi che li rendevano insostituibili o quasi: per le consegne a domicilio in ambito urbano o per altri utilizzi strettamente in ambito cittadino. A Torino, ad esempio, il Comune possedeva una flotta di veicoli elettrici e gestiva un sito per la loro ricarica al piano terreno di un palazzo comunale. Nel secondo dopoguerra la vettura di rappresentanza del sindaco di Torino, Amedeo Peyron, era una Fiat Balilla 508, trasformata in elettrica. Nel 1970 la flotta di veicoli elettrici venne dismessa e il locale per la ricarica smantellato e adibito ad altri usi.

Analogamente anche i veicoli a vapore divennero meno comuni, dato che per tenere il passo con quelli con motore a combustione interna, soprattutto per ridurre il tempo necessario per portare in pressione la caldaia e quindi permettere un utilizzo immediato del veicolo, divennero anch'essi più complessi e costosi.

Sempre negli Stati Uniti gli autoveicoli con motore a combustione interna continuarono il loro sviluppo, con l'introduzione del cambio automatico e con la produzione in serie che permise la riduzione dei costi al punto che, seppure lentamente, l'autoveicolo divenne un prodotto di massa.

In Europa i veicoli elettrici e a vapore non avevano mai avuto una grande popolarità e la produzione si concentrò sui veicoli a motore a combustione interna. Tuttavia, anche a causa di politiche fiscali che tendevano a considerare l'automobile un bene di lusso da assoggettare a una forte tassazione, non si può parlare di una vera motorizzazione di massa fino agli anni 1950-1960. L'industria automobilistica diventò



il settore trainante dell'economia di tutti i paesi occidentali e divenne un luogo comune il detto secondo cui se l'industria automobilistica «tira», tutta l'economia è in espansione.

Non c'è alcun dubbio che il modello di mobilità basato sulla motorizzazione di massa, con la grande diffusione di veicoli di proprietà del singolo utente, ha dato a un sempre crescente numero di esseri umani una libertà di movimento che non si era mai vista nella storia. Tuttavia il modello che ci ha offerto questa libertà non è esente da problemi. Tre di questi gravi problemi sono stati evidenziati tra la fine degli anni 1960 e l'inizio degli anni 1970:

- sicurezza;
- inquinamento, soprattutto nelle aree urbane;
- uso di grandi quantità di risorse energetiche.

Più di recente, a partire dagli anni 2000, si è evidenziato un quarto problema: emissione di grandi quantità di gas a effetto serra.

Il primo problema è stato messo in luce nel libro *Unsafe at Any Speed*⁶ (Pericolose a qualsiasi velocità) di Ralph Nader che ha accusato l'industria automobilistica di non occuparsi adeguatamente della sicurezza dei veicoli che produce.

Ma l'allarme era giustificato?

Per prima cosa si deve notare che, pur non esistendo statistiche relative al XIX secolo e ai precedenti, il modello di trasporto basato sui carri a trazione animale e agli animali da sella era certamente meno sicuro di quello attuale, almeno in relazione alla scarsa mobilità che caratterizzava quei tempi ormai lontani. In assenza di statistiche, la letteratura ci parla di incidenti mortali dovuti a cadute da cavallo o a rotture di carri, e la cosa non può stupirci in quanto non

⁶R. Nader, *Unsafe at Any Speed*, Grossman, New York 1965.



esisteva alcuna normativa – o meglio, non esisteva neppure il concetto di normativa di sicurezza. Le prime normative compaiono infatti nell'800, e si riferiscono al trasporto ferroviario e furono varate in seguito a gravissimi incidenti.

Nella figura 6 è riportata la mortalità dovuta all'uso di veicoli stradali e, per confronto, al trasporto aereo. Come si vede, il grafico mostra una continua diminuzione a partire dal 1920, con un piccolo aumento tra il 1960 e il 1965, presto riassorbito. In parte la diminuzione verificatasi dopo il 1970 è sicuramente legata alle normative in termini di sicurezza, che sono state varate a partire dall'allarme di cui si è detto, ma, se questo può essere vero per gli anni più recenti, non può valere per gli anni '70, dato che per avere effetto qualsiasi innovazione in campo automobilistico richiede anni, o decenni.

La normativa nel campo della sicurezza stradale era appena stata avviata che si è iniziato a parlare dei problemi legati all'inquinamento causato dagli autoveicoli, principalmente in ambiente urbano. Sono state identificate immediatamente varie cause di inquinamento legato alla circolazione delle automobili. La prima era sicuramente l'inquinamento da piombo, principalmente dovuto all'uso di piombo tetraetile come additivo delle benzine. A questo si è posto rimedio con l'introduzione di benzine senza piombo, che divennero rapidamente obbligatorie, a partire dallo Stato della California.

Attualmente, la normativa ambientale si occupa specificamente di quattro tipi di inquinamento: idrocarburi incombusti, ossidi di azoto (No_x), monossido di carbonio (CO) e particolato, imponendo valori massimi che vengono periodicamente rivisti al ribasso. Anche l'inquinamento da anidride solforosa viene tenuto sotto controllo.

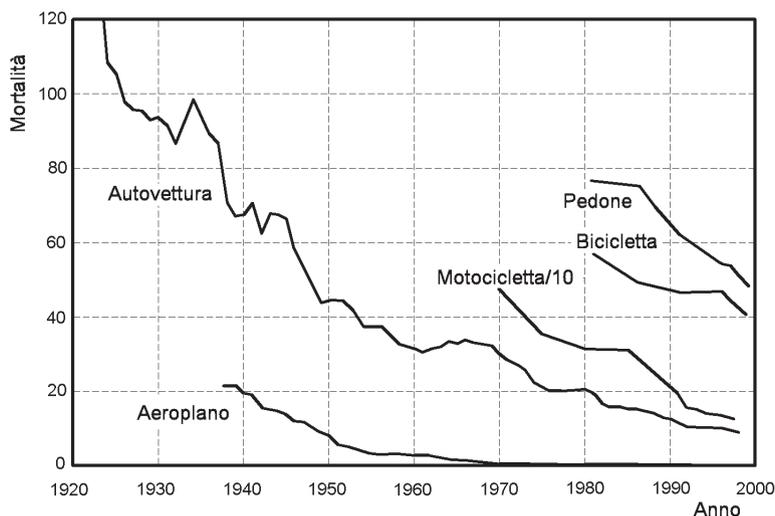


Fig. 6. Mortalità, in numero di morti per miliardo di passeggeri chilometro, dovuti all'uso di veicoli stradali e, per confronto, al trasporto aereo (nel caso degli autoveicoli, i dati si riferiscono a miliardi di veicoli km). La curva relativa ai motocicli è stata divisa per un fattore 10. I dati si riferiscono agli Stati Uniti, a eccezione di quelli relativi alle biciclette e ai pedoni, che fanno riferimento alla Gran Bretagna (dati tratti da Bjørn Lomborg, *L'ambientalista scettico*, Mondadori, Milano 2003)

Nella figura 7 sono riportati gli effetti di queste misure sull'ambiente urbano in generale. Nel grafico a è riportato l'andamento della concentrazione di polveri (fumo) e di anidride solforosa a Londra a partire dalla metà del XVI secolo. I dati indicati dalla metà del secolo scorso in poi sono frutto di misurazioni rigorose, mentre quelli relativi ai periodi precedenti sono stimati. Il crollo dell'inquinamento a partire dagli anni 1960 è in parte dovuto alle misure volte a ridurre le emissioni degli autoveicoli oltre che ai provvedimenti relativi alle altre fonti. Nel grafico b sono riportati i dati re-

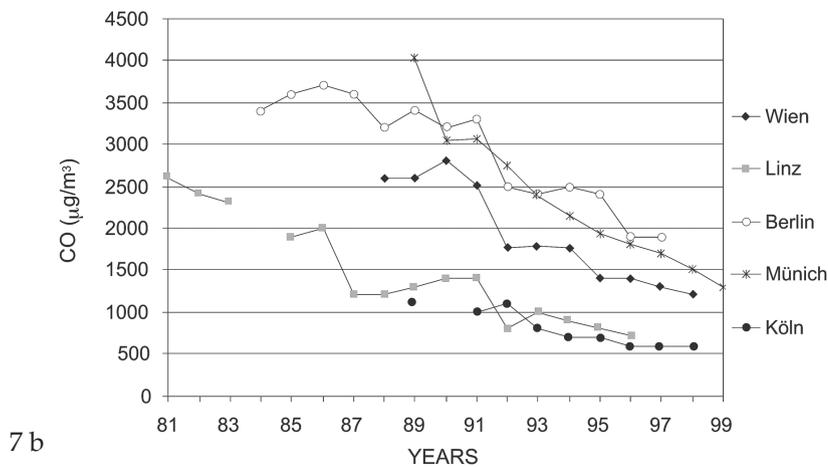
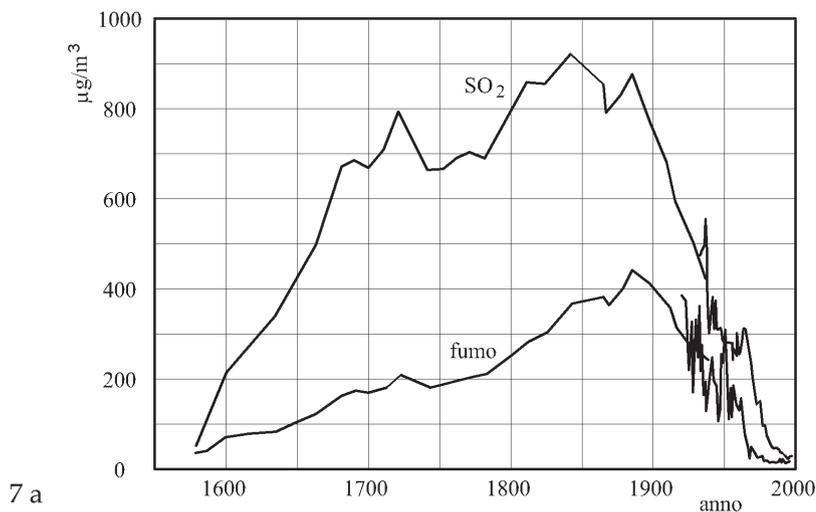


Fig. 7. a) Concentrazione (in microgrammi al m^3) di polveri (fumo) e di anidride solforosa (SO_2) a Londra a partire alla metà del XVI secolo (vedi B. Lomborg, *L'ambientalista scettico*, Mondadori, Milano 2003)
 b) Concentrazione (in microgrammi al m^3) di monossido di carbonio in alcune città tedesche e austriache nel periodo 1980-2000

lativi all'inquinamento da monossido di carbonio in alcune città tedesche e austriache nei vent'anni che hanno preceduto il nuovo millennio. Come si vede, a Londra (caso tipico di città di un paese europeo) l'inquinamento sta scendendo dalla fine del XIX secolo, mentre nelle altre città considerate l'inquinamento è più che dimezzato (in alcune città si è ridotto del 70%) nel periodo 1980-2000. Lo stesso vale per gli altri inquinanti in generale e per il periodo successivo. Pertanto anche questo secondo allarme va ridimensionato.

Il terzo punto è relativo ai consumi energetici degli autoveicoli, problema che si è posto all'inizio degli anni '70 quando il prezzo del petrolio ha avuto un'impennata e si è temuto che l'aumento fosse dovuto a un'oggettiva scarsità di questa materia prima e che il suo prezzo avrebbe continuato ad aumentare. In realtà l'aumento degli anni '70 si è rivelato una conseguenza di motivi politici e in qualche anno il prezzo del petrolio è tornato a valori ragionevoli (anche se più alti dei valori di prima della crisi) e a tutt'oggi è ben al di sotto della temuta soglia dei 200 \$ al barile, più volte agitata come spauracchio. La scoperta di nuovi giacimenti di petrolio e soprattutto di gas naturale ha fatto sì che le preoccupazioni relative all'esaurimento di queste materie prime si ridimensionassero.

In ogni caso gli enti preposti alla normativa del settore automobilistico non hanno emanato regolamentazioni strette riguardo ai consumi di combustibile, come era stato fatto per l'inquinamento, ma hanno deciso di affidarsi al mercato che avrebbe privilegiato le autovetture con i consumi più bassi per spingere i costruttori a realizzare modelli che richiedessero meno carburante. In effetti questa strategia ha prodotto un certo ridimensionamento dei consumi, che oggi sono mediamente più bassi di quelli degli anni '60.

L'ultima grande sfida che l'industria ha dovuto affrontare è stata quella dell'emissione di gas a effetto serra e in particolare di anidride carbonica (CO_2). Questo gas non può essere considerato come un inquinante, in quanto in sé non è pericoloso per le forme di vita (è essenziale per la vita vegetale), tuttavia, se presente nell'atmosfera in quantità eccessive, può causare un aumento della temperatura della Terra.

L'anidride carbonica viene prodotta ogni volta che si brucia un combustibile che contiene carbonio ed è quindi un inevitabile prodotto della combustione di idrocarburi. Per ridurre la produzione ci sono soltanto due vie:

1. bruciare meno combustibili contenenti carbonio (in particolare sostituire gli idrocarburi con idrogeno, l'unico combustibile che non contenga carbonio⁷);
2. utilizzare biocarburanti, ovvero carburanti prodotti da materiali di origine biologica (vegetale). Non che con i biocarburanti non si immetta anidride carbonica in atmosfera, ma la quantità immessa è esattamente uguale a quella che la pianta, da cui il biocarburante deriva, ha sottratto all'atmosfera durante la sua crescita, e quindi i biocarburanti devono essere considerati sicuri da questo punto di vista o, come si dice ora, *carbon neutral*.

Su questi punti si ritornerà nei prossimi capitoli; qui ci si limita a notare come qualsiasi intervento che riduca il consumo di carburante dei veicoli riduce anche la quantità di anidride carbonica emessa. Attualmente tutti i paesi si sono dotati (o si stanno dotando) di normative per ridurre le emissioni di anidride carbonica. L'obiettivo stabilito per il

⁷A parte l'ammoniaca (NH_3), che ha però altri inconvenienti. L'ammoniaca è stata proposta e talvolta utilizzata come combustibile per le navi, ma non la si ritiene idonea per gli autoveicoli.

2025 dalla UE è quello di scendere sotto i 93,6 g/km e sotto valori ancora più bassi in futuro.

Come si è detto, il settore automobilistico si è trovato ad affrontare i quattro problemi sopra citati a partire dalla fine degli anni '60, i primi tre in rapida sequenza, e il quarto con un certo ritardo. Questa sfida ha prodotto un'intensa attività di ricerca che ha cambiato radicalmente sia il «prodotto» automobile che il modo di produrlo, facendo sì che le automobili di oggi siano radicalmente diverse – più sicure, meno inquinanti e più sostenibili, ma anche più complesse e costose – di quelle del passato. Si è trattato di un'evoluzione tecnologica che ha riguardato tutto il settore automobilistico, anche se spesso è stata sottovalutata dal grande pubblico: i cambiamenti nell'industria di produzione di massa sono necessariamente lenti, pertanto spesso non sono percepiti in tutta la loro portata.

Bisogna anche aggiungere che, a partire dagli anni '60, è cresciuta l'insofferenza di una parte dell'opinione pubblica verso il nostro stile di vita e verso la nostra civiltà in quanto tale⁸: per le tendenze anti-tecnologiche e anti-capitaliste, da allora in rapida crescita, l'automobile ha incarnato il ruolo di simbolo da contestare e abbattere. Per molti non si trattava di migliorare il nostro modello di mobilità in modo da risolvere i problemi che si stavano creando, ma di compiere una vera e propria rivoluzione che avrebbe dovuto cambiare non tanto il nostro modo di spostarci quanto il nostro stile di vita in generale e il nostro modo di pensare.

Per chi la pensava così, l'industria automobilistica era una sorta di entità maligna di cui si doveva diffidare, un'entità

⁸ Si veda, tra gli altri, G. Genta, P. Riberi, *I profeti dell'Apocalisse*, Lindau, Torino 2024.

che non comprendeva le esigenze degli utenti e produceva veicoli pericolosi, dannosi e poco utili. Un esempio scherzoso di questo modo di pensare era l'adesivo che campeggiava sul paraurti posteriore di molte autovetture americane con scritto «Made in Detroit by idiots» (fatta a Detroit da idioti), come se il proprietario ci volesse avvertire che aveva sì comperato quella vettura, ma era ben consapevole dei suoi difetti. Meno scherzosa, ma quasi volta a suscitare sensi di colpa in chi la leggeva – e che per poterla leggere probabilmente viaggiava in automobile – era la scritta di ringraziamento «Thank you for taking the bus», firmata dall'allora presidente Jimmy Carter, che si poteva vedere sulle autostrade americane sul retro di molti autobus interurbani.

In altre parole, era tassativo limitare il più possibile la circolazione dei mezzi privati, in particolare nelle città ma non solo, con limitazioni di ogni genere, dai divieti alle tasse sui veicoli e sui carburanti, da limiti di velocità talvolta assurdi a incentivi per chi usava il trasporto pubblico. E questa situazione dura tuttora.

Tuttavia a un certo punto qualcuno ha pensato bene di aggiustare il tiro: colpevole di tutti i mali non era tanto l'automobile in quanto tale, ma il motore a combustione interna che la aziona, antiquato, sporco, inquinante, rumoroso, causa dell'esagerato consumo di combustibile e produttore di gas responsabili dell'effetto serra.

E allora la situazione divenne chiara: si potevano risolvere tutti i problemi sostituendo il motore termico con il motore elettrico, pulito, ecologico, economico e parco nei consumi. O meglio, rispolverando l'auto elettrica dopo più di ottant'anni di oblio!

Il mito dell'elettrificazione

Socialismo = Soviet + Elettricità.

Lenin

1. La Fata dell'Elettricità

Nel mito del progresso che ha pervaso la seconda metà del secolo XIX e i primi quindici anni del XX, l'elettricità viene spesso assunta a simbolo della creatività umana, una forza per certi versi misteriosa che permette all'uomo di trasportare in modo semplice e pulito l'energia di cui il progresso ha bisogno e, allo stesso tempo, di creare la luce, con tutta la simbologia insita nei termini «luce» e «illuminazione».

In parte questo è ovvio: le tecnologie legate all'elettricità sono da un lato molto pervasive, in quanto interessano la vita quotidiana di tutti, e dall'altro versatili, potendo azionare macchinari, fornire luce e calore, trasmettere messaggi e, con il passare degli anni, riprodurre suoni e infine trasmettere informazioni a distanza senza alcun collegamento materiale. Al tempo stesso sono un frutto di quella tecnologia scientifica che, a fine '800, sembrava aver raggiunto le sue vette più alte (molti ritenevano che la scienza avesse

raggiunto la comprensione finale dell'universo e che restassero da realizzare soltanto alcune applicazioni), ma nel contempo erano di difficile comprensione per i non addetti ai lavori. Le cose che l'elettricità permetteva erano molto simili a quelle che l'uomo aveva sempre ritenuto magiche, ma non avevano nulla a che fare con le forze oscure del male: al contrario delle attrezzature meccaniche, sempre sporche di olio e facilmente trasformabili in armi e quindi in strumenti di morte, le tecnologie elettriche erano pulite, luminose, quasi salvifiche¹.

Nella difficoltà di raffigurare in modo plastico l'elettricità, si dava spazio alla rappresentazione magica, la Fata dell'Elettricità, una giovane e bellissima donna, quasi sempre poco vestita, in piedi su macchinari elettrici o su un pavimento di fulmini, da cui trarre l'energia che viene trasformata in luce da una lampadina, sollevata con la mano destra a illuminare il mondo (fig. 1). Una specie di versione più materiale e meno paludata della Libertà, rappresentata dalla statua che spande la sua luce davanti al porto di New York.

Sebbene questa visione ottimistica del progresso sia entrata in crisi con la Grande Guerra, ancora nel 1937 il pittore Raoul Dufy realizzò il grande dipinto *La Fée Electricité*² per il Padiglione della luce e dell'elettricità dell'Esposizione Internazionale delle Arti e delle Tecniche nella vita moderna di Parigi.

¹ Naturalmente si passavano sotto silenzio i pericoli insiti nell'uso dell'elettricità, dagli incendi dovuti ai corti circuiti agli shock elettrici. In quanto all'uso dell'elettricità per uccidere basta citare la pena di morte eseguita mediante la sedia elettrica, che peraltro non era neppure così indolore come veniva sostenuto.

² In realtà il titolo *La Fata Electricité* fu dato dal critico Bernard Dorival nel 1954.



Fig. 1 Manifesto pubblicitario rappresentante la Fata dell'Elettricità e i vari usi dell'elettricità (fine del XIX secolo)

Si tratta di un dipinto su tela a pannelli di grandissime dimensioni (62 × 10 m, il più grande mai realizzato) che illustra a colori vivaci e gioiosi la storia dell'umanità e l'invenzione dell'elettricità raffigurando filosofi, scienziati, inventori e industriali, da Talete, scopritore dell'elettrostatica, a Thomas Edison, inventore tra l'altro della lampadina. La Fata dell'Elettricità, che accoglie il visitatore e che dà il titolo all'opera, è la mitologica Iris, figlia di Elettra, la messaggera degli dèi. Oggi l'opera è esposta al Musée d'Art Moderne di Parigi.

Questo simbolismo ebbe anche interpretazioni politiche, come indicato dalla frase di Lenin, riportata in esergo, che nell'elettrificazione vedeva uno strumento fondamentale per la costruzione del socialismo. Da un punto di vista materiale, la realizzazione della rete elettrica avrebbe permesso alla Russia sovietica di uscire dalla storica arretratezza industriale ed economica, permettendo a tutti i cittadini di godere dei vantaggi della modernità, mentre da un punto di vista simbolico la rete che collegava tutto il territorio al centro era una metafora del centralismo del Partito comunista.

Che cosa poteva esserci di meglio dell'elettrificazione del sistema dei trasporti per risolvere i problemi causati dall'arretrato motore termico?

2. *L'auto elettrica oggi*

I problemi legati ai trasporti potevano venire quindi risolti rispolverando quelle auto elettriche che all'inizio del '900 erano state così popolari. Indubbiamente un problema c'era, lo stesso che ne aveva causato l'abbandono quasi un secolo prima: l'elettricità non è una sorgente di energia, ma

soltanto un vettore energetico, che permette di trasportare l'energia prodotta in un luogo verso un utilizzatore posto in un altro. Occorre quindi una fonte energetica primaria, un sistema di generazione che trasformi l'energia (chimica, nucleare, cinetica del vento, elettromagnetica della luce del sole, ecc.) della fonte primaria in energia elettrica, un sistema di trasmissione che trasporti l'energia verso l'utilizzatore e infine un sistema che la trasformi, in tempo reale, nella forma voluta.

Il problema sta proprio in quell'inciso: «in tempo reale». L'energia elettrica non può essere immagazzinata se non dopo essere stata nuovamente trasformata in qualcosa d'altro³. Ad esempio, nelle batterie ricaricabili, l'energia elettrica viene trasformata in energia chimica (o, meglio, elettrochimica) e immagazzinata in questa forma, per poi essere ritrasformata in energia elettrica quando serve.

A parte il caso di veicoli che possano essere collegati alla rete elettrica durante il moto mediante contatti striscianti (pantografi, trolley ad asta, archetti tranviari, ecc.) – cosa possibile solo per veicoli su rotaia o per alcuni veicoli su ruote di gomma come i filobus, che però devono muoversi su un percorso prefissato –, in tutti gli altri casi il veicolo deve trasportare a bordo la sorgente dell'energia necessaria al moto, o, meglio, un accumulatore che la immagazzini⁴.

³Fanno eccezione i condensatori, in cui l'energia è accumulata in un campo elettrico, e gli induttori, in cui viene immagazzinata in un campo magnetico.

⁴Sono in corso molte ricerche relative alla possibilità di ricaricare le batterie dei veicoli elettrici durante il moto mediante sistemi induttivi, ma si tratta di sistemi che richiedono ancora molta ricerca e soprattutto grandi investimenti in infrastrutture dotate di sistemi di ricarica. In ogni caso il rendimento di questi sistemi è minore di quello dei sistemi di ricarica convenzionali.

Mentre nel caso dei veicoli con motore termico (a combustione interna o anche a vapore) l'energia viene immagazzinata a bordo sotto forma di energia chimica di un combustibile, nel caso dei veicoli con motore elettrico la soluzione più comune è utilizzare batterie elettrochimiche. La batteria diviene così il punto focale per la realizzazione di veicoli elettrici che possano viaggiare svincolati dalla rete di distribuzione.

BATTERIE ELETTROCHIMICHE PER AUTOTRAZIONE

Attualmente esistono quattro categorie di batterie ricaricabili che possono essere utilizzate per autotrazione. In ordine di prestazioni crescenti sono:

Batterie al piombo

Batterie al nichel

Nichel cadmio (Ni-Cd, ormai vietate per la nocività del cadmio)

Nichel-ferro (Ni-Fe)

Nichel-zinco (Ni-Zn)

Nichel-idruri metallici (Ni-Mh)

Batterie alcaline

Batterie al litio

Ioni di litio (Li-ion)

Litio-polimeri (Li-Po)

Litio-ferro-fosfato (LiFePh)

Litio-zolfo (Li-S).

I due parametri più importanti per valutare un accumulatore di energia sono la densità di energia e la densità di potenza. La prima è il rapporto tra l'energia accumulata e la massa dell'accumulatore (in campo automobilistico si misura spesso in Watt-ora⁵ per kilogrammo, Wh/kg), mentre la seconda è il rapporto tra la potenza che la batteria è in grado di erogare (o di assorbire durante la carica) e la massa della batteria (si misura spesso in Watt per kilogrammo, W/kg). Se, ad esempio, la densità di energia di una batteria è pari a 100 Wh/kg significa che ogni kg di batteria è in grado di accumulare un'energia di 100 Wh, pertanto per accumulare 80 kWh con una batteria di quel tipo è necessaria una batteria da 800 kg.

Una batteria con una densità di potenza di 100 W/kg può fornire al massimo una potenza di 100 W per ogni kg di massa; il che significa che per alimentare un motore da 100 kW occorre una batteria da almeno 1000 kg (1 t).

Ovviamente il valore minimo della massa della batteria è il maggiore tra il valore che fornisce una sufficiente energia e quello che fornisce una sufficiente potenza.

Nella tabella 1 sono riportate varie caratteristiche delle batterie sopra citate, e per confronto la densità di energia di un combustibile fossile (benzina). Nell'ultima colonna è riportata la massa di una batteria equivalente a 50 kg di benzina, in grado di fornire la stessa energia meccanica (considerando la diversità di rendimento dei rispettivi motori) di 160 kWh.

⁵ Il Wh e conseguentemente il kWh (kiloWatt-ora) non sono unità incluse nel Sistema Internazionale (SI) e quindi non dovrebbero essere usate. Al loro posto si dovrebbe usare il Joule (J) e il kiloJoule (kJ), unità coerenti nel SI; tuttavia vengono molto utilizzate in campo automobilistico e nelle forniture di energia. Le varie unità sono collegate dalle relazioni: 1Wh = 3600 J = 3.6 kJ; 1kWh = 3.6 MJ.

TABELLA 1

Densità di energia, densità di potenza, rendimento e numero di cicli di vari tipi di batterie. Per confronto nella prima riga è riportata la densità di energia di un combustibile fossile (benzina), e nell'ultima colonna è indicata la massa di una batteria in grado di accumulare tanta energia quanto un serbatoio contenente 50 kg di benzina, assumendo che il rendimento del motore termico sia del 25% e quello del motore elettrico del 95%

		DENSITÀ DI ENERGIA WH/KG	DENSITÀ DI POTENZA W/KG	RENDIMENTO %	N. CICLI	MASSA KG
	Benzina	12.200	—	—	—	50
B	Piombo	30-40	180	70-92	500-800	4000-5300
A	Ni-Cd	40-60	150	70-90	1500	2600-4000
	Ni-Fe	50	100	65	> 1000	3200
T	Ni-Zn	60	900	70	100-500	2600
T	NiMh	30-80	250-1000	60	500-1000	2000-5300
E	Alkaline	85	50	99	100-1000	1880
R	Li-ion	150-250	1800	80-90	1200	640-1060
I	Li-Po	130-200	3000	90-95	500-1000	800-1230
E	LiFePh	80-120	3000	95	2000	1330-2000
	Li-S	400			100	400

Come si evince dalla tabella:

- la densità di energia di nessuna delle batterie esistenti si avvicina neppure lontanamente a quella dei combustibili fossili;
- le uniche batterie in grado di essere utilizzate per la realizzazione di veicoli elettrici sono quelle al litio.

Tra le batterie al litio, i tipi maggiormente usati sono quelle al litio-ferro-fosfato (più economiche, ma con presta-

zioni inferiori) e al litio-polimeri (più costose). Le batterie al litio zolfo sono in prospettiva un'alternativa promettente.

Anche con batterie al litio, a parità di energia utilizzabile, la massa della batteria è da 20 a 30 volte quella di un combustibile come la benzina. Anche considerando che il motore elettrico può essere più leggero di un motore a combustione interna, un veicolo elettrico a batteria risulterà molto più pesante e avrà un'autonomia più ridotta di quella di uno con motore termico.

Le batterie hanno un rendimento non altissimo; pertanto in fase di ricarica bisogna utilizzare una quantità di energia maggiore di quella che poi la batteria sarà in grado di fornire. Anche in questo le batterie al litio sono molto più convenienti degli altri tipi.

Il numero di cicli di carica-scarica è limitato e dipende da molti fattori, quali la temperatura e la profondità di scarica. Se quindi si vuole che la batteria duri molto, bisogna ridurre la quantità di energia che la batteria è in grado di fornire (cioè usare una batteria più grande e pesante a parità di energia fornita).

Anche se nella tabella non sono riportati dati relativi allo spazio occupato, le batterie sono molto più ingombranti di un serbatoio di combustibile a parità di energia.

I dati riportati nella tabella 1 illustrano in modo lampante perché i veicoli elettrici siano stati abbandonati all'inizio del XX secolo quando le uniche batterie disponibili erano quelle al piombo, e perché solo l'introduzione di batterie al litio abbia permesso di realizzare veicoli elettrici praticamente utilizzabili.

In realtà anche questa affermazione non è esatta: nel 1898,

Thomas Edison introdusse la batteria al Nichel-ferro (Ni-Fe) che venne presto utilizzata sulle autovetture elettriche più costose, come quelle della Baker Electrics. Tuttavia anche così le cose cambiarono solo marginalmente: la densità di energia delle nuove batterie non era molto più alta di quella delle batterie tradizionali, mentre la densità di potenza era addirittura minore.

Ci fu un periodo in cui i veicoli elettrici godettero di nuovo di una relativa popolarità. Durante la seconda guerra mondiale, la generale scarsità di carburante, in particolare per usi civili, portò alla conversione di molti veicoli, soprattutto autocarri; tuttavia alla fine della guerra i notevoli progressi nel campo dei motori termici e la diffusione della benzina e del gasolio come combustibili ne determinarono la quasi completa scomparsa.

Fino agli anni 1990 la loro tecnologia non vide sostanziali miglioramenti dai tempi degli inizi della motorizzazione e il loro punto debole rimase sempre il peso eccessivo delle batterie, la ridotta autonomia e il molto tempo necessario per la ricarica. Questi inconvenienti continuano a permanere, nonostante il progresso nel campo delle batterie e dell'elettronica di potenza e di controllo, progresso che ha portato a una vera rivoluzione nei sistemi di trazione elettrica.

3. La necessità di tenere conto dell'intera vita del veicolo

Quando si paragonano vari tipi di veicoli dal punto di vista del consumo di carburante, da quello «ecologico» o dell'emissione dei gas a effetto serra, non è necessario considerare solo la quantità di sostanze inquinanti prodotte o

l'energia utilizzata da un veicolo durante il suo funzionamento, ma anche l'inquinamento e il consumo energetico nel corso del suo intero ciclo di vita, vale a dire che devono essere tenuti sotto controllo l'inquinamento prodotto e l'energia consumata nella produzione, manutenzione e smaltimento dei veicoli al termine della loro vita operativa.

Dunque è essenziale considerare la distanza totale percorsa dal veicolo nella sua vita utile: se un veicolo è poco utilizzato, ciò che più pesa sono l'inquinamento e il consumo energetico nelle fasi di produzione e rottamazione del veicolo, mentre l'incidenza di queste due fasi diminuisce all'aumentare della distanza percorsa dal veicolo durante la sua vita. Al contrario, se il veicolo percorre durante la sua vita moltissimi chilometri, a contare sono il consumo e l'inquinamento prodotto durante il moto, mentre quelli legati alle fasi di costruzione e rottamazione divengono quasi trascurabili.

Qualsiasi cambiamento venga introdotto in un veicolo allo scopo di ridurre le emissioni e migliorare l'efficienza energetica, se nelle fasi costruttive produce un aumento dell'inquinamento o del consumo di energia (a causa della complessità maggiore o dell'uso di materiali particolari), ha un effetto positivo solo a partire da una certa utilizzazione effettiva del veicolo.

Un veicolo ibrido, più complesso di uno con motore a combustione interna o di uno elettrico, può essere conveniente se utilizzato come taxi, ma non come vettura privata da città che venga usata solo saltuariamente.

Un altro fattore determinante, che non può essere trascurato paragonando i vari tipi di veicoli, è la fonte primaria usata per la produzione di energia elettrica, che varia da paese a paese. Dove la fonte primaria più diffusa è

l'energia nucleare (come in Francia) o idroelettrica (come in Svezia o in Canada), l'uso di veicoli elettrici può essere vantaggioso, mentre là dove si usano combustibili fossili, in particolare il carbone, il veicolo elettrico può non presentare alcun vantaggio.

I consumi energetici

1. Consumi chilometrici delle auto con motore termico

Quando un potenziale acquirente valuta i consumi energetici di un'autovettura convenzionale è interessato alla quantità di carburante necessaria per percorrere l'unità di distanza. Dato che il carburante per autotrazione viene venduto a volume, il consumo chilometrico si esprime in litri al chilometro, o, più spesso, in litri per 100 km, in modo da avere un numero dell'ordine di 4 o 5 (o più nel caso di vetture con consumi elevati). In questo modo si hanno immediatamente i costi chilometrici, moltiplicando il consumo chilometrico per il prezzo di vendita del carburante in €/litro.

Il consumo chilometrico è influenzato da un gran numero di parametri, quali il tipo di strada, la velocità, lo stile di guida, ecc. Per confrontare le varie autovetture è necessario riferirsi a condizioni standardizzate e pertanto sono stati introdotti «cicli» standardizzati che simulano condizioni d'uso medio cui le aziende costruttrici di veicoli devono attenersi nel dichiarare i consumi. Attualmente (dal 1° settembre 2017) il ciclo utilizzato in Europa, e in generale in tutto il mondo, è il ciclo WLTP (*Worldwide Harmonized Light Vehicles*

Test Procedure) che ha sostituito il ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*) usato in precedenza. Gli stessi cicli sono anche utilizzati per il rilevamento delle emissioni inquinanti. Dato che statisticamente le autovetture hanno un uso prevalentemente urbano, questi cicli simulano un percorso misto, con prevalenza di condizioni urbane.

Contrariamente al ciclo NEDC, il ciclo WLTP viene effettuato in laboratorio, con la vettura su banco a rulli. Dal 2018, per valutare la differenza tra le prove di laboratorio e le reali condizioni su strada, è obbligatorio eseguire le cosiddette prove RDE (*Real Driving Emissions*) per la misura delle emissioni su strada. I consumi minimi per vetture utilitarie secondo il ciclo WLTP sono dell'ordine di 4,3 l/100 km.

2. Consumi chilometrici delle auto ibride ed elettriche

Per le vetture ibride si possono utilizzare le stesse modalità viste per le vetture con motore a combustione avendo cura di terminare la prova con le batterie nello stesso stato di carica con cui si è iniziato. Questo vale anche per le vetture ibride «plug in», che peraltro anche nell'uso reale vengono prevalentemente usate senza procedere alla ricarica delle batterie dalla rete elettrica.

Per i veicoli elettrici ha senso definire i consumi chilometrici in base all'energia necessaria alla ricarica delle batterie per percorrere la distanza unitaria. In questo modo i consumi sono misurabili in Wh/km o, più spesso, in kWh/100 km. Anche qui si utilizzano cicli standardizzati, e in particolare il WLTP, e ci si riferisce generalmente a una scarica della batteria dall'80% al 20% della capacità totale.

Passare dal consumo chilometrico al costo chilometrico in questo caso è più difficile, dato che le tariffe dell'energia elettrica sono alquanto variabili.

UN ESEMPIO DI CONFRONTO DI COSTI CHILOMETRICI

Si consideri un'auto media con motore termico con un consumo chilometrico pari a 5 l/100 km. Se i prezzi medi di benzina e gasolio sono rispettivamente pari a 1,9 €/l e 1,8 €/l, i costi chilometrici saranno pari a:

- veicolo con motore a benzina: 9,5 €/100 km;
- veicolo con motore diesel 9,0 €/100 km.

Per una vettura elettrica media si può considerare un consumo chilometrico di 13 kWh/100 km. Assumendo una tariffa per l'energia elettrica pari a 0,127 €/kWh, il costo chilometrico è pari a 1,7 €/100 km.

Da questi calcoli sommari si può dedurre che il costo chilometrico per un veicolo elettrico è nettamente inferiore a quello di un veicolo con motore termico.

Tuttavia questo confronto è valido dal punto di vista dell'utente e non da quello assoluto, perché il prezzo della benzina e del gasolio sono gravati da forti accise, al netto delle quali il costo chilometrico sarebbe meno della metà di quello indicato, mentre per il costo dell'energia elettrica si è assunto il prezzo attualmente (aprile 2024) stabilito da ARERA per la fascia F1. Utilizzando l'elettricità per ricaricare l'auto elettrica, si ricadrebbe facilmente in tariffe decisamente più elevate a causa degli elevati consumi.

3. Consumi «dal pozzo alle ruote»

I consumi chilometrici visti nei paragrafi precedenti sono indicativi per valutare i costi che l'utente deve sostenere per l'uso del veicolo, tuttavia un indice più significativo, in particolare per le auto elettriche, è il consumo di energia primaria. Questo è molto diverso da un paese all'altro: ad esempio in Francia il forte impiego di energia nucleare per la produzione di energia elettrica fa sì che l'energia elettrica venga prodotta utilizzando percentualmente meno combustibili fossili che in altri paesi. Anche la Svezia e il Canada, che utilizzano molta energia idroelettrica, sono in una situazione analoga. In Norvegia poi, anche a causa della bassa densità di popolazione e all'abbondanza di fonti idroelettriche, la produzione di energia rinnovabile è fortissima (praticamente tutta l'energia è prodotta in questo modo) e questo fa sì che sia l'unico paese in cui la transizione al veicolo elettrico sia realizzabile a breve termine e decisamente conveniente.

Ben diversa la situazione di paesi come la Cina e soprattutto l'India, in cui l'uso di carbone è ancora percentualmente molto significativo. Paesi come la Germania, l'Italia e gli Stati Uniti sono in condizioni intermedie.

È ovvio che, nel caso di paesi che utilizzano molti combustibili fossili, è importante conoscere il consumo delle automobili «from well to wheel», che si potrebbe tradurre «dal pozzo alle ruote», ma anche «dalla miniera alle ruote» nel caso di veicoli elettrici in paesi che utilizzano molto carbone. Bisogna però sottolineare che anche in Stati come la Francia o la Svezia può non avere senso utilizzare per le auto elettriche l'energia prodotta con il nucleare o gli impianti idroelettrici se altre utenze usano elettricità prodotta con fonti fossili. Questo perché il consumo energetico totale «dal pozzo

alle ruote» di una vettura elettrica è più elevato di quello di una vettura con motore a combustione interna. Non è facile calcolare il rendimento totale dal pozzo alle ruote, dato che le variabili sono molte, dal tipo di strada allo stile di guida, dalla profondità di scarica e di ricarica alla distanza tra l'utilizzatore e la fonte energetica, dal tipo (e dall'anno di costruzione) del veicolo e della centrale elettrica al particolare tipo di batteria, di motore e di elettronica usata a bordo. Nella tabella 1 sono riportati i risultati del rendimento globale dal pozzo alle ruote di vari veicoli: per quelli elettrici si è indicato il combustibile fossile utilizzato per produrre l'energia elettrica, mentre per i veicoli con motore termico si è indicato il combustibile usato per il veicolo.

TABELLA 1

Rendimento totale dal pozzo alle ruote (secondo A. Albatayneh, M. N. Assaf, D. Alterman, M. Jaradat, Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles, «Environmental and Climate Technologies», vol. 24, n. 1, 2020, pp. 669-680)

Auto elettrica			Auto termica		
Carbone	Metano	Petrolio	Benzina	Diesel	Gas
13-27%	13-31%	12-25%	11-27%	25-37%	11-22%

Proprio per la variabilità di questi dati sono stati indicati dei campi di variazione e non valori univoci. Come si vede, tutti i veicoli hanno campi di variazione ampi e molto simili tra loro, con un certo vantaggio per le autovetture con motore termico azionate da motori diesel e per i veicoli elettrici utilizzando energia elettrica prodotta con centrali a metano.

A rendere le cose ancora più difficili, i veicoli elettrici richiedono una quantità di energia diversa da quella richie-

sta dai veicoli convenzionali; quindi a parità di efficienza dal pozzo alle ruote, consumano diverse quantità di energia primaria ed emettono nell'atmosfera una diversa quantità di gas a effetto serra.

Per prima cosa i veicoli elettrici sono più pesanti di quelli convenzionali, pertanto consumano parecchia energia in più, soprattutto in ambiente urbano dove i consumi sono in particolare dovuti alla resistenza di rotolamento e alla potenza per accelerare, entrambe proporzionali al peso. E non solo: in inverno il riscaldamento in un veicolo termico lo si ottiene sfruttando il calore di scarico del motore, mentre in un veicolo elettrico questa possibilità non c'è e lo si deve ottenere in altro modo, spendendo energia.

In compenso in un veicolo elettrico si può recuperare una parte dell'energia di frenatura, anche se in realtà è difficile recuperarne più del 30% e l'entità dell'energia recuperata effettivamente dipende strettamente dallo stile di guida. Per di più, il recupero dell'energia di frenatura lo si può ottenere anche con i veicoli ibridi, che non hanno gli altri due inconvenienti.

In totale l'energia primaria consumata da un veicolo elettrico è decisamente maggiore di quella consumata da un veicolo con motore termico, e parimenti è maggiore l'emissione in atmosfera di gas a effetto serra, a meno che si utilizzi l'energia nucleare (in questo caso, la quantità di energia primaria consumata non è particolarmente importante e non si ha emissione di gas serra) oppure energie rinnovabili (idroelettrica, eolica, solare, in cui la fonte primaria è gratuita¹ e la generazione di energia non emette gas serra).

¹ In questo paragrafo non si tiene conto dei costi, dell'energia e delle emissioni necessarie per realizzare gli impianti, ma soltanto dell'energia necessaria per muovere il veicolo.

4. Emissioni di gas a effetto serra

Tutti i combustibili contengono carbonio o idrogeno o composti di entrambi (idrocarburi). Anche le sostanze che producono energia all'interno degli esseri viventi contengono composti di questi due elementi (carboidrati, ecc.). La combustione di queste sostanze produce essenzialmente acqua (H_2O) dall'idrogeno e anidride carbonica (CO_2) dal carbonio. Le altre sostanze che possono essere emesse durante la combustione, e che generalmente consideriamo come inquinanti, derivano da impurità o additivi presenti nel combustibile, come lo zolfo che produce altri ossidi, quale l'anidride solforosa (SO_2).

Più carbonio contiene il combustibile, maggiore è la quantità di anidride carbonica che viene emessa per ogni kWh prodotto. La benzina e il gasolio sono costituiti da molecole di idrocarburi abbastanza grandi e complesse. Ad esempio, una tipica molecola presente nella benzina è l'isooctano, C_8H_{18} , e una tipica molecola del gasolio è il cetano, o n-esadecano, $C_{16}H_{34}$. Dato che entrambe contengono una notevole quantità di carbonio, sia la benzina che il gasolio producono una grande quantità di anidride carbonica quando vengono bruciati.

Il più povero in carbonio tra gli idrocarburi e, quindi, quello che produce meno anidride carbonica è il metano, CH_4 , il principale componente del gas naturale. Il propano, C_3H_8 , il principale componente del gas di petrolio liquefatto (GPL) ha un contenuto di carbonio leggermente superiore.

Mentre l'inquinamento prodotto dalla combustione di tutti questi carburanti dipende soprattutto da come vengono bruciati e da come i gas combusti vengono trattati (a parte le impurità presenti nel combustibile, in condizioni ideali i prodotti di combustione sarebbero soltanto anidride

carbonica e acqua), la quantità di anidride carbonica emessa per ogni kWh prodotto dalla combustione dipende solo dal tipo di combustibile usato.

Le emissioni specifiche di CO₂ riferite all'energia contenuta nel combustibile è di:

0,20 kg/kWh per il gas naturale,

0,23 kg/kWh per il gas di petrolio liquefatto (GPL),

0,25 kg/kWh per la benzina,

0,27 kg/kWh per il gasolio,

0,35 kg/kWh per il carbone.

Questi valori dipendono comunque dalla composizione esatta del combustibile e dal verificarsi o meno di una combustione completa. In ogni caso si riferiscono all'energia contenuta nel carburante; pertanto, per riferirsi all'energia prodotta bisogna tenere conto anche del rendimento del sistema di generazione (motore, turbina e generatore, ecc.).

Un combustibile che non contiene carbonio è l'ammoniaca (NH₃) costituita da azoto e idrogeno. Le difficoltà di sostituire l'ammoniaca agli idrocarburi sono molte, a partire dalla sua tossicità e dall'elevata produzione di ossidi di azoto durante la combustione. Per questi motivi il suo uso come combustibile viene per lo più considerato per la propulsione navale, mentre ci sono dubbi sul suo uso potenziale nel campo autoveicolistico o per il riscaldamento domestico.

Se si brucia un combustibile di origine biologica, come il legno o altre parti di piante, si ri-emette in atmosfera la stessa quantità di anidride carbonica che la pianta aveva sottratto per crescere, pertanto il bilancio dell'emissione di anidride carbonica è nullo. Se invece si brucia un combustibile fossile, si emette oggi l'anidride carbonica che era stata sottratta in ere geologiche passate, quando si sono formate le piante che si sono poi trasformate in combustibili fossili.

Ovviamente l'energia nucleare e quella ottenuta da fonti rinnovabili non emettono gas serra. Come si è accennato, il mix di fonti primarie e quindi le emissioni di gas serra dei veicoli elettrici variano da paese a paese.

Nella figura 1 sono riportate le emissioni di gas serra, in g di CO₂ al chilometro, da parte di uno stesso veicolo elettrico operante in vari paesi. Il grafico si riferisce a una vettura di medie dimensioni, che, nella versione convenzionale emette circa 230 g/km di CO₂ e in quella ibrida circa 170

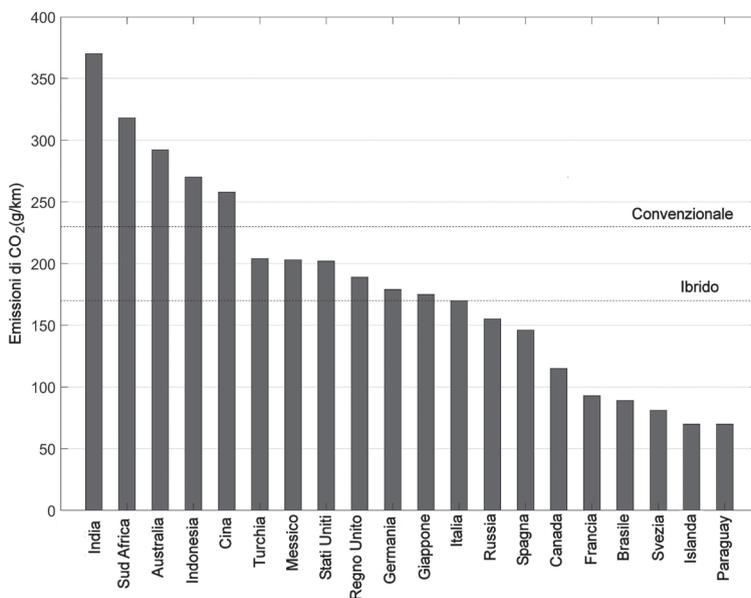


Fig. 1. Emissioni di gas serra da parte di veicoli elettrici, paragonate con quelle relative a veicoli convenzionali e ibridi in vari paesi. Bisogna notare che, tranne il caso di pochi paesi in cui l'energia elettrica è prodotta in centrali nucleari o idroelettriche, le emissioni di CO₂ dei veicoli elettrici sono superiori a 100 g/km, soglia indicata come massimo per i veicoli in generale per un prossimo futuro dalle normative europee. E in ogni caso sono superiori alla soglia di 50 g/km indicata per un futuro più lontano

g/km. Chiaramente, in paesi in cui l'energia elettrica viene prodotta principalmente da combustibili fossili il veicolo elettrico peggiora moltissimo la situazione, mentre presenta vantaggi solo dove la fonte primaria è in buona parte nucleare, come in Francia, o idroelettrica, come in Canada o Svezia. Come già accennato, la Norvegia è un caso anomalo: la produzione di energia idroelettrica è tale che, fermi restando i problemi legati all'energia necessaria per la costruzione dei veicoli, l'uso dei veicoli elettrici mantiene veramente le promesse.

In Italia un veicolo elettrico emette all'incirca la stessa quantità di gas serra di un veicolo ibrido.

Da questi dati si deve concludere che un'ampia diffusione dei veicoli elettrici richiede una notevole disponibilità di energia elettrica, prodotta da fonti diverse dai combustibili fossili. Un esempio significativo è quello della Cina, che sta puntando sull'elettrificazione del sistema dei trasporti per ridurre l'inquinamento delle città. Attualmente questo porta a un aumento delle emissioni di gas serra, cosa che in prospettiva potrà essere risolta mediante la realizzazione di molte centrali nucleari: secondo Yu Jianfeng, presidente della compagnia energetica statale China National Nuclear Corporation, la Cina dovrebbe costruire dalle 6 alle 8 centrali nucleari ogni anno², oltre ad avere un piano per un forte sviluppo delle energie rinnovabili.

²Vedi <http://www.rinnovabili.it/energia/cina-centrali-nucleari/>

5. Consumi totali dei veicoli

Bisogna notare che nella figura 1 si tiene conto soltanto delle emissioni dovute all'uso del veicolo. Se, come si dovrebbe fare, si considerassero anche i costi, i consumi energetici e la CO₂ prodotta nella costruzione del veicolo (e in particolare delle sue batterie) e la sua manutenzione e rottamazione, il quadro sarebbe decisamente peggiore.

Tuttavia non è possibile dare un giudizio comparativo generale, poiché i consumi energetici dovuti alla costruzione e alla rottamazione del veicolo sono fissi per un dato veicolo ma l'inquinamento e l'emissione di gas serra prodotti dipendono dal paese in cui queste fasi avvengono e dalle fonti primarie che vengono utilizzate. In particolare, questo avviene soprattutto per la produzione di anidride carbonica che è particolarmente alta per veicoli costruiti in India, ma anche in Cina.

In modo analogo, l'incidenza percentuale delle fasi di costruzione e rottamazione diminuisce con l'intensità del suo uso, per cui i veicoli elettrici appaiono particolarmente sfavoriti come vetture private, mentre questo effetto è meno importante in caso di veicoli adibiti al servizio taxi o *car sharing*. In parziale controtendenza è il fatto che la durata delle batterie, uno dei componenti più costosi e inquinanti di un veicolo elettrico, è limitata, sia come numero di cicli di ricarica che come tempo totale di vita.

Un veicolo elettrico dovrebbe avere un uso intensivo e una lunga durata per far sì che i potenziali vantaggi nel suo uso, che si possono avere almeno in alcuni paesi, pesino di più degli inconvenienti legati alle altre fasi del ciclo di vita. In questo modo, però, è necessario procedere a un cambio totale delle batterie una o più volte nella vita

del veicolo stesso e questo è penalizzante da tutti i punti di vista.

Il problema opposto è quello di veicoli elettrici pochissimo usati, o addirittura rottamati in grandi quantità praticamente da nuovi, come è avvenuto soprattutto in Cina: a partire dal 2019 in molte grandi città cinesi sono stati identificati vasti spazi pieni di autovetture elettriche praticamente nuove, abbandonate, di fatto da rottamare. Lo stesso fenomeno, anche se ovviamente meno appariscente, era stato rilevato alcuni anni prima relativamente alla rottamazione di biciclette elettriche.

Apparentemente il fenomeno è dovuto alla concomitanza di tre cause:

- il fallimento di molte società di *car sharing* (e prima di *bike sharing*) e dell'80% dei produttori di veicoli elettrici, anche come conseguenza della fine degli incentivi statali;
- la diminuzione del gradimento di questo tipo di veicoli da parte del pubblico, che, dopo un iniziale entusiasmo, ne ha compreso i problemi;
- il fatto che vengano costantemente immessi sul mercato nuovi modelli con migliori prestazioni, facendo sì che gli utenti tendano a disfarsi di veicoli prematuramente divenuti obsoleti.

Lo smaltimento di questi veicoli, e in particolare delle loro batterie, sta causando gravi problemi ecologici e ne causerà di ancora peggiori in futuro. Tuttavia, il problema non è solo cinese: analoghi «cimiteri» di auto elettriche vengono scoperti anche in altri paesi. Ad esempio, a 180 km da Parigi ne è stato individuato uno molto grande, dovuto, anche in questo caso, al fallimento dell'impresa di *car sharing* Autolib, inaugurata nel 2011 e chiusa nel 2018.

Da questo punto di vista bisogna notare che, nella costruzione dei veicoli elettrici e delle loro batterie, sono necessari elementi che diverranno sempre più rari con l'espandersi di questa tecnologia; la loro estrazione inoltre è alquanto nociva dal punto di vista ambientale. I motori elettrici di ultima generazione utilizzano terre rare come il neodimio e le uniche batterie veramente utilizzabili sono quelle a base di litio. Anche la rottamazione di questi elementi ha un impatto tutt'altro che trascurabile sull'ambiente.



La disponibilità di energia elettrica

1. Generazione

Come sempre avviene nel campo della produzione di massa, se realizzare prototipi e operare su scala ridotta è semplice, tutto si complica quando si passa ai grandi numeri.

Realizzare vetture elettriche per un mercato ridotto, eventualmente producendo veicoli di lusso, non presenta particolari difficoltà, che invece aumentano con la scala di produzione e la necessità di contenerne i costi.

POTENZA RICHIESTA PER LA RICARICA DELLE BATTERIE

Un esempio può chiarire gli ordini di grandezza coinvolti. In una città come Roma, circolano 1,8 milioni di autovetture. Si ipotizzi di dover ricaricare contemporaneamente un decimo delle vetture circolanti (180.000 autovetture) con una batteria di 80 kWh ciascuna, scariche all'80%, in mezz'ora (carica molto rapida). Anche assumendo che la ricarica avvenga senza perdite, la potenza necessaria è pari a 23.000 MW. Occorrono quindi 23 grandi centrali elettriche (da 1000 MW ciascuna) dedicate alla ricarica delle batterie!

A fine 2022 in Italia la potenza efficiente lorda di generazione era di 123.300 MW. La potenza di generazione media è molto minore, dato che non tutte le centrali hanno un rendimento ideale e vengono accese solo per fornire i picchi, mentre le fonti rinnovabili sono molto discontinue. Il totale di energia prodotta nel 2021 è stato di 318,1 miliardi di kWh, corrispondenti a una potenza media di 36.310 MW.

Per ricaricare in mezz'ora il 10% del parco circolante di Roma occorre dunque il 63% della produzione media di energia elettrica dell'intera Italia!

A questo si potrebbe obiettare che la potenza necessaria diminuisce al crescere della durata della carica delle batterie. Caricando le batterie in 8 ore, invece che in mezz'ora, la potenza richiesta si ridurrebbe a circa 1400 MW, ma si tratta di un dato molto discutibile, perché con una carica lenta il numero di batterie da caricare contemporaneamente aumenta e quindi tale riduzione è del tutto illusoria.

Una conversione generalizzata verso la mobilità elettrica comporta gravissimi problemi legati all'inadeguatezza dei sistemi di generazione elettrica un po' in tutta Europa, a eccezione di paesi come la Francia, che dispone di una notevole generazione di energia nucleare o di paesi la cui conformazione del territorio permette un uso notevole dell'energia idroelettrica, come la Norvegia. Data la notevole quantità di energia richiesta dai veicoli elettrici durante l'utilizzo, la quantità dotale di energia richiesta si sposta semplicemente dai combustibili fossili all'energia elettrica (con un certo aumento) e questo richiede un notevole incremento della capacità di generazione. Se poi si vogliono costruire i veicoli e le batterie in Europa, in queste fasi anche l'aumento di energia pesa sulla capacità di generazione, perché le aziende produttrici utilizzano principalmente energia elettrica.

Si tratta di problemi globali, che vanno affrontati almeno su scala europea: ad esempio, un aumento di veicoli elettrici in Francia e Svizzera, che grazie alla disponibilità di energia nucleare hanno capacità di generazione in eccedenza e vendono energia elettrica all'Italia, potrebbe ridurre le forniture e causare una notevole scarsità energetica in Italia. Lo stesso vale per la Norvegia, attualmente esportatore di energia elettrica. L'elettrificazione del sistema di trasporto norvegese porterebbe a una forte carenza di energia elettrica in Danimarca e altri paesi limitrofi.

2. Trasporto

Mentre per le vetture con motore termico il carburante viene distribuito semplicemente mediante autobotti, senza la necessità di costruire particolari infrastrutture, dato che

l'altissima densità di energia dei combustibili liquidi rende il trasporto agevole ed economico, la ricarica delle vetture elettriche richiede la realizzazione di notevoli infrastrutture. Infatti le batterie vengono ricaricate principalmente nelle città, a distanza notevole dalle centrali elettriche, il che richiede di trasportare l'energia elettrica. Ma le reti di distribuzione attualmente non sono dimensionate per quest'uso e per una diffusione generalizzata di veicoli elettrici occorre realizzare una notevole quantità di nuovi elettrodotti, con il relativo costo, inquinamento ed emissione di gas serra, senza tenere conto dell'impatto estetico di queste grandi opere.

Nelle città si dovrebbero realizzare reti capillari di distribuzione di energia elettrica per permettere di sistemare colonnine di ricarica non solo nelle abitazioni, per la ricarica notturna, ma anche in altri luoghi dove le persone si fermano per tempi non brevi (luoghi di lavoro, centri commerciali, ecc.) in modo da non concentrare la ricarica nelle sole ore notturne. Questa rete di distribuzione dovrebbe trasportare forti correnti elettriche, soprattutto se le colonnine devono permettere ricariche rapide, pertanto è dubbio che si possa utilizzare in modo economico ed efficiente corrente a bassa tensione. Ma il trasporto capillare in ambiente urbano di correnti ad alta tensione comporta problemi di sicurezza non indifferenti.

Discorso analogo vale anche per la necessità di sistemare colonnine di ricarica lungo le autostrade e in località di turismo e villeggiatura, infrastrutture che verrebbero usate soltanto per periodi ridotti e quindi in condizioni di ridotta efficienza.

3. Fonti rinnovabili

Si è già detto che l'alternativa di usare come fonte primaria i combustibili fossili per produrre l'energia elettrica per la ricarica delle batterie non ha alcun senso, in particolare se si usa carbone. L'uso di veicoli elettrici in questo caso aumenta, e non di poco, le emissioni di gas serra, oltre ad accrescere i consumi energetici.

Certamente una grande diffusione dell'energia nucleare risolverebbe molti problemi. Probabilmente l'elettrificazione della maggior parte dei veicoli circolanti diverrebbe possibile solo con il successo delle ricerche volte a realizzare la fusione nucleare controllata.

Si parla molto di un impiego massiccio di energie rinnovabili, per realizzare l'elettrificazione del parco veicoli senza provocare un aumento delle emissioni di anidride carbonica, però questo cozza contro una delle caratteristiche fondamentali delle energie rinnovabili: la loro discontinuità. In Italia, nel 2022 la capacità di generazione rinnovabile era di 64.100 MW, il 52% del totale di 123.300 MW. Tuttavia l'energia prodotta da fonti rinnovabili è stata di 110 TWh, il 34% circa dell'energia totale prodotta pari a 318,1 TWh.

Con le fonti rinnovabili, il 52% della capacità di generazione ha prodotto solo il 34% dell'energia, una differenza legata al fatto che le fonti rinnovabili sono attive solo per un tempo limitato. Per di più, in Italia la maggior parte dell'energia rinnovabile è idroelettrica, con un contributo non indifferente di quella geotermica: le due fonti rinnovabili meno discontinue. L'energia solare e quella eolica sono molto più discontinue, e un loro sviluppo aumenterebbe il divario tra energia prodotta e capacità di generazione.

Il problema è che i costi e le emissioni, dovute alla realizzazione delle centrali, sono proporzionali alla capacità di generazione, mentre i benefici all'energia prodotta. Le energie rinnovabili, in particolare quella fotovoltaica ed eolica, le più discontinue, tendono a massimizzare i costi e le emissioni legati alla costruzione delle centrali, a parità di energia effettivamente prodotta.

ENERGIA NECESSARIA PER REALIZZARE IMPIANTI PER FONTI RINNOVABILI

Utilizzando dati pubblicati su un sito fortemente favorevole all'energia fotovoltaica ¹, si ottiene che l'energia necessaria per produrre un pannello solare è 1340 kWh/m². Assumendo che la produzione annua di energia sia pari a 180 kWh/m², si ottiene che per i primi 7,4 anni il pannello produce l'energia necessaria alla sua realizzazione. Se quindi il pannello dura 25 anni, l'energia totale prodotta è pari a 3,3 volte l'energia necessaria alla costruzione. Evidentemente i dati citati sono semplicemente ordini di grandezza, in quanto i valori effettivi dipendono dal tipo di pannelli, dal luogo e dal tipo di installazione.

Discorso del tutto analogo può essere fatto relativamente all'energia eolica, con la differenza che nella fattispecie la variabilità tra un caso e l'altro è ancora maggiore e quindi non ha senso fare considerazioni generali.

In ogni caso, l'emissione di gas serra durante la produzione degli impianti dipende strettamente da dove sono prodotti. Dato che sia i pannelli solari che i componenti dei

¹ <https://www.migrol.ch/it/blog/miti/#:~:text=Per%20realizzare%20un%20modulo%20fotovoltaico,%5B1%5D%20di%20energia%20grigia.>

sistemi eolici sono principalmente prodotti in Cina, utilizzando una considerevole percentuale di energia da combustibili fossili (anche carbone), le emissioni di gas serra sono notevoli.

Per giunta, bisogna tenere conto dei tempi. Ad esempio, se si vuole costruire una centrale a energia rinnovabile nel 2026, l'emissione dei gas serra avverrà per lo più nel 2025. Poi i pannelli solari verranno trasportati in loco, altra fase in cui vengono emessi gas serra. Infine, nel 2026 la centrale comincerà a lavorare, producendo energia senza emettere gas serra. Se il mix energetico usato per la produzione è basato al 30% su fonti rinnovabili o nucleari, il tempo necessario a raggiungere il pareggio è di 5,2 anni, secondo i dati indicati sopra.

Il risparmio nell'emissione di gas serra avverrà quindi soltanto a partire dal 2031.

Purtroppo, un discorso non molto differente vale pure per l'energia nucleare: anche le centrali nucleari devono essere costruite. La loro costruzione richiede energia, il che implica la produzione di gas serra, che dipende dal mix di fonti primarie utilizzato nel paese in cui la centrale e i suoi componenti vengono costruiti.



I costi sociali

1. Il costo della transizione

Nell'attuale modello di trasporto, le autovetture sono di proprietà degli utenti, che nella maggior parte dei casi le utilizzano per lavoro e non ne possono fare a meno. La transizione verso l'auto elettrica ha costi molto elevati, che non potranno che essere sopportati dai proprietari dei veicoli. In particolare questi costi hanno varie cause:

– Un deprezzamento delle attuali auto in circolazione, nella stragrande maggioranza azionate da motori termici, che diverranno meno appetibili e quindi avranno un valore in forte diminuzione. Questo effetto potrebbe non essere così forte: imponendo una transizione obbligatoria verso l'elettrico e nell'impossibilità di acquistare veicoli nuovi, potrebbe verificarsi una specie di «effetto Cuba», con le vecchie auto termiche che vengono mantenute in esercizio a ogni costo ed essendo richieste sul mercato dell'usato mantengono il loro valore.

– Un aumento dei costi di manutenzione delle auto precedenti alla transizione, che finirebbero per essere mantenute in funzione oltre la loro convenienza economica. In questo caso potrebbe verificarsi un aumento dei consumi e dell'in-

quinamento, oltre che degli incidenti causati da veicoli molto vecchi e con una manutenzione sommaria.

– Un aumento dei costi di acquisto dei veicoli elettrici, più cari di quelli tradizionali e soprattutto con un componente molto costoso, la batteria, di durata limitata (nel tempo e in dipendenza dall'uso, cioè dal numero e dalla profondità delle ricariche), che quindi va periodicamente sostituita. Non si ha ancora alcuna idea del valore che un veicolo elettrico potrebbe avere sul mercato dell'usato, in quanto le diffidenze ad acquistare un'auto «di seconda mano» potrebbero essere molto maggiori nel caso del veicolo elettrico: lo stato del componente più costoso e facilmente deperibile è infatti difficilmente valutabile.

Non dobbiamo infatti dimenticare che la motorizzazione di massa è stata resa possibile dal fatto che gli autoveicoli mantengono un valore non trascurabile sul mercato dell'usato e che sostituire il proprio veicolo con uno nuovo ha costi più limitati di quelli del primo acquisto. Non solo, i veicoli usati hanno permesso a molti nuovi utenti di acquistare un veicolo a un prezzo tutto sommato contenuto. La semplicità degli autoveicoli della prima metà del XX secolo permetteva inoltre di mantenere il veicolo in funzione con costi relativamente ridotti. Quest'ultimo effetto era in parte già svanito nella seconda metà del XX secolo, dato che le varie normative (soprattutto quelle anti-inquinamento) avevano già reso obbligatorie operazioni di manutenzione che pesavano in modo crescente sui costi di esercizio.

Tuttavia, l'esperienza maturata relativamente alla progettazione di vetture convenzionali aveva fatto sì che i modelli recenti, almeno quelli di buona qualità, richiedessero una ridotta manutenzione, e questo ha contribuito a contenere i costi che l'utente deve sostenere.

Oggi in molti paesi ci sono incentivi all'acquisto di veicoli elettrici, ma il loro mantenimento nel tempo è dubbio e comunque non fanno altro che spostare il costo della transizione ai veicoli elettrici dai singoli utenti alla società in generale. Accollare i costi della transizione al bilancio dello Stato non cambia nulla, dato che chi paga è sempre e comunque l'utente, anche se lo fa nella sua veste di contribuente e non in quella di utilizzatore di autoveicoli.

2. Gli effetti sull'occupazione

I veicoli elettrici sono apparentemente più semplici di quelli tradizionali e comunque la loro costruzione richiede una minore quantità di lavoro. A questo fatto generale, che porta sicuramente a una riduzione dell'occupazione nel settore automobilistico, si aggiunge la circostanza che le tecnologie necessarie alla loro realizzazione non sono in buona parte disponibili nei paesi produttori di autoveicoli. Attualmente chi ha sviluppato maggiormente le tecnologie coinvolte nell'elettrificazione dei veicoli sono le industrie cinesi, anche grazie a quel sistema di socialismo di mercato che permette alla politica di prendere decisioni in materia economica e di attuare pratiche concorrenziali che in altri paesi sono considerate scorrette.

All'effetto di una riduzione dell'occupazione si aggiunge quindi un trasferimento di moltissimi posti di lavoro dai paesi dove tradizionalmente ha sede la produzione di autoveicoli a quelli che si stanno specializzando nella produzione di veicoli elettrici.

La crisi dell'industria dell'automobile che si può prevedere per un futuro prossimo si aggiunge a quella già in atto causa-

ta dall'effetto annuncio: le politiche volte all'imposizione del passaggio all'elettrico entro tempi brevi spingono le aziende a non investire nei veicoli tradizionali, mentre le incertezze nel futuro rallentano gli investimenti nell'elettrificazione.

A questo si somma la certezza che, comunque, l'industria europea non sarà competitiva nel settore delle auto elettriche a basso costo, spingendo verso prodotti di alta gamma, che probabilmente saranno remunerativi ma solo su piccola scala. Certamente il mercato delle cosiddette «supercar» elettriche potrà essere importante per l'industria europea, ma con volumi di produzione bassi e di conseguenza con l'assorbimento di una ridotta quantità di lavoratori.

Infine, l'incertezza normativa ed economica spinge gli utenti a rinviare decisioni di acquisto provocando un forte rallentamento del mercato.

L'automobile elettrica, almeno quella costruita nei paesi tradizionalmente industrializzati, appare quindi sempre più un prodotto per pochi privilegiati, realizzato da un numero ridotto di lavoratori. La produzione di massa, ammesso che possa essere sostenuta da un mercato che va restringendosi, avverrà in Estremo Oriente e principalmente in Cina. Insomma, in Europa e Stati Uniti potrebbe verificarsi una specie di ritorno agli anni '20 del '900, quando l'automobile (questa volta elettrica) era un bene solo per pochi privilegiati.

3. Implicazioni ambientali

Si è già detto che l'automobile elettrica ha in generale consumi energetici maggiori di quelle tradizionali. Pertanto, porta a emissioni di gas serra paragonabili, maggiori o minori, a seconda delle fonti primarie usate nella generazione elettrica.

L'energia necessaria alla costruzione del veicolo elettrico (batterie incluse) è in generale maggiore di quella necessaria alla costruzione di veicoli convenzionali. Inoltre, la produzione avviene in paesi che fanno un grande uso di combustibili fossili e in particolare di carbone, con conseguente aumento della produzione di gas serra.

Dal punto di vista dell'inquinamento, il veicolo elettrico è considerato un mezzo di trasporto «verde», dato che l'inquinamento non avviene in sede di utilizzazione del veicolo (in particolare in ambiente urbano), ma in sede di produzione dell'energia elettrica. Certamente il veicolo non emette ossidi di azoto, monossido di carbonio e idrocarburi incombusti, e quelli emessi dalla centrale elettrica (ammesso che questa utilizzi combustibili fossili) sono molto meno abbondanti, dato che la combustione avviene in modo continuo e la centrale può essere dotata di dispositivi anti-inquinamento molto migliori di quelli che possono essere installati su un veicolo.

Un discorso diverso è legato al particolato. In un veicolo convenzionale il particolato (PM10) viene emesso da due fonti distinte: la combustione, che emette particelle prevalentemente carboniose, e l'usura, principalmente dei freni e dei pneumatici, che rilascia particelle soprattutto di gomma, metallo e materiali di attrito.

La produzione di particolato da parte delle vetture a benzina è circa il 4% del totale, all'incirca per il 2% dovuto alla combustione e per il 2% alle ruote e ai freni. Nel caso di vetture con motore diesel, la parte dovuta a ruote e freni è all'incirca la stessa, mentre il motore emette una quantità molto più alta di particolato. In entrambi i casi il particolato emesso dalla combustione è fortemente diminuito negli anni recenti e, anche per effetto di una normativa sempre

più restrittiva, si prevede che si riduca ulteriormente in futuro. Per quanto riguarda il particolato dovuto all'usura, le prospettive di una riduzione sono molto remote.

Ovviamente un veicolo elettrico non emette polveri sottili legate alla combustione, mentre la quantità di polveri sottili emesse da ruote e freni è all'incirca la stessa, anzi è maggiore a causa del peso delle batterie che aumentano la resistenza di rotolamento e l'energia da dissipare nei freni – anche se una certa quantità di energia può venire recuperata durante i rallentamenti. Un veicolo elettrico emette attualmente circa la metà delle polveri sottili emesse da un veicolo a benzina. Questa percentuale è destinata ad aumentare con il miglioramento della combustione dei motori termici.

Dal punto di vista dell'inquinamento il problema maggiore è legato alla crisi dell'industria dell'automobile dovuta alla transizione verso il veicolo elettrico. La potenziale riduzione del prodotto interno lordo e la necessità di impiegare risorse per ammortizzatori sociali o per finanziare parte della transizione porteranno a ridurre le risorse impiegabili per prevenire l'inquinamento e per la riduzione delle emissioni di gas serra.

Come si è visto in occasione del recente rincaro dei prodotti petroliferi, crisi economiche portano a ritornare all'utilizzo di processi più inquinanti ma meno costosi, e le centrali a carbone ne sono un esempio tipico. Una crisi generalizzata dell'industria autoveicolistica, con il conseguente aumento della disoccupazione e l'impoverimento della classe media, ci farebbe tornare indietro nelle prassi volte a ridurre l'inquinamento e l'emissione di gas serra.

I pericoli dell'auto elettrica

1. L'auto elettrica è pericolosa?

C'è chi sostiene che il veicolo elettrico sarebbe intrinsecamente più pericoloso di un veicolo convenzionale. Al contrario, altri ritengono che per sua natura il veicolo elettrico si presterebbe molto meglio ad adottare quei dispositivi di ausilio alla guida che dovrebbero portare i veicoli a essere completamente autonomi e quindi a eliminare i pericoli legati all'errore umano, che attualmente è la causa della maggior parte degli incidenti. Si è parlato molto di «autonomous e-Mobility», sognando veicoli elettrici che, oltre a essere silenziosi e non inquinanti, non richiedano l'intervento di un guidatore umano, che viene di fatto trasformato in passeggero.

È ovvio che la stessa transizione tra una tecnologia già sperimentata e una nuova può causare pericoli, legati alla necessità di apportare cambiamenti alla normativa, di valutare i rischi di guasti di sistemi non ancora sufficientemente provati e semplicemente di utilizzare veicoli che possono reagire in modo diverso da quelli cui si è abituati. Questo aspetto è scontato, ma non deve essere di ostacolo all'innovazione e ai cambiamenti.

2. I pericoli legati alle batterie

Una batteria, come qualsiasi dispositivo in grado di accumulare energia, è intrinsecamente pericolosa, dato che, se l'energia viene liberata in un tempo ridotto, si possono raggiungere temperature molto alte in grado di provocare un incendio. Eppure non c'è nulla da fare: su un veicolo è necessario accumulare energia, pertanto si tratta di un rischio legato a qualsiasi forma di veicolo. Nei veicoli convenzionali l'energia è accumulata come energia chimica di un combustibile e questo è addirittura più pericoloso dell'utilizzo di una batteria. In realtà, è solo l'abitudine che ci permette di sentirci a nostro agio viaggiando a forte velocità, seduti praticamente su una scatola di lamiera contenente decine di litri di un liquido altamente infiammabile come la benzina!

Non solo, le operazioni di rifornimento ci costringono a far fluire in pochissimi minuti grandi quantità dello stesso liquido infiammabile attraverso tubature non sigillate. Non per nulla, nei regolamenti delle corse di Formula 1, dopo alcuni incendi, sono stati proibiti i rifornimenti in gara.

L'esperienza accumulata in più di un secolo di utilizzo di combustibili liquidi estremamente infiammabili ha permesso di ridurre praticamente a zero il rischio di incendi e oggi la rete di distribuzione del carburante per autoveicoli è efficiente e sicura.

Le batterie per autotrazione contengono una notevole quantità di energia, dunque anche loro possono causare incendi in caso di incidente, in particolare se si ha un corto circuito che produce una scarica rapidissima. Questo è vero per tutte le batterie elettrochimiche, incluse le batterie al piombo utilizzate sulle autovetture convenzionali per i servizi ausiliari, a tal punto che in passato ci sono stati vari

incendi in seguito a incidenti che hanno causato un corto circuito, che a sua volta ha provocato l'incendio del combustibile trasportato a bordo. Oggi questi pericoli sono ricordi del passato in quanto sono stati adottati sistemi in grado di scollegare la batteria in caso di urto.

Le moderne batterie di trazione sono praticamente tutte al litio, batterie che, anche se in modo diverso da tipo a tipo, sono più delicate di quelle al nichel o al piombo per quanto riguarda i rischi di incendio: la fase più critica è la carica della batteria, tuttavia si sono avuti casi di incendi causati da batterie al litio anche durante la scarica o il semplice immagazzinamento.

Di per sé, come gli altri metalli alcalini, il litio è fortemente infiammabile e, a contatto con l'acqua, scatena una violenta reazione che produce idrogeno, ancor più infiammabile. Se la batteria si riscalda eccessivamente, si producono gas, soprattutto idrogeno, e la batteria stessa assume un aspetto «gonfio». Oltre una certa temperatura si innesca poi un effetto di surriscaldamento spontaneo (*runaway heating*) che causa l'incendio della batteria, con sviluppo di gas tossici, o addirittura la sua esplosione.

L'incendio dovuto alle batterie al litio è molto difficile, per non dire quasi impossibile, da spegnere, e gli estintori comunemente usati sono del tutto inefficaci. La strategia normalmente utilizzata consiste nel contenere l'incendio raffreddando la batteria con abbondante flusso di acqua, fino all'esaurimento spontaneo di tutto il materiale combustibile. Per altro, si possono verificare anche vere e proprie esplosioni di batterie sia in uso che durante l'immagazzinamento.

È evidente che l'incendio di piccole batterie, come quelle usate nei telefoni cellulari o nei calcolatori portatili, è relativamente poco pericoloso. Di per sé, già l'incendio di quelle

dei monopattini e delle biciclette elettriche presenta pericoli seri, mentre nel caso delle batterie usate sulle autovetture la quantità di materiale infiammabile è tale da produrre incendi pericolosi, difficili da domare anche per i vigili del fuoco.

Il problema dell'incendio della batteria riguarda anche i veicoli ibridi: sebbene le batterie siano di dimensioni minori, la presenza di un combustibile a bordo fa sì che si sommino i rischi dei veicoli convenzionali a quelli dei veicoli elettrici. In particolare, si può avere un incendio della batteria che causa l'accensione o l'esplosione del serbatoio, oppure un incendio del carburante che può surriscaldare e incendiare la batteria stessa.

Statisticamente l'incendio di un veicolo elettrico, o ibrido, è meno probabile di quello di un veicolo convenzionale, tuttavia le sue conseguenze sono molto più gravi, soprattutto se si considera che si tratta di eventi che possono avvenire in qualsiasi momento, senza alcun preavviso. Se poi i veicoli elettrici dovessero avere una grande diffusione, fino a sostituire del tutto quelli convenzionali, il numero di incendi sarebbe destinato a moltiplicarsi.

Durante le fasi di carica e scarica il rischio è legato alla presenza di celle con caratteristiche diverse, celle che vengono attraversate da correnti differenti in modo tale che alcune di esse tendono a surriscaldarsi fino a raggiungere la temperatura alla quale si innesca un incendio che si propaga rapidamente anche alle altre celle, o addirittura un'esplosione. Per questo motivo tutte le batterie sono oggi dotate di un dispositivo elettronico (*Battery Management System*, BMS) che provvede a controllare la tensione, la corrente e la temperatura delle varie celle e a bilanciare la carica e la scarica. Tuttavia, come si è detto, la possibilità di incendio anche nel semplice immagazzinamento, sebbene remota, fa

sì che la presenza del BMS non sia una garanzia assoluta di sicurezza.

Recentemente (autunno 2024) in vari paesi si sono verificati casi in cui autovetture elettriche si sono incendiate senza alcun motivo apparente: non erano sotto carica, né stavano fornendo energia al veicolo. In uno di questi incidenti, avvenuto in Italia, la vettura si è incendiata nel box sito al piano interrato di una villetta, e l'incendio si è propagato all'abitazione. Per fortuna non ci sono state vittime, ma l'evento ha destato non poca preoccupazione nell'opinione pubblica.

A seguito di questi incendi, in alcuni paesi si sta prendendo in considerazione l'ipotesi di emanare regolamenti che in qualche modo scoraggino l'uso dei veicoli elettrici, come proibirne l'accesso ai parcheggi sotterranei o la ricarica notturna delle batterie. Quest'ultima norma sarebbe particolarmente penalizzante, in quanto la ricarica diurna è già scoraggiata dalla struttura delle tariffe dell'energia elettrica, più costosa nelle ore di massimo consumo.

Non bisogna poi dimenticare la possibilità di atti volontari. Di fatto, una vettura elettrica è una sorta di autobomba naturale: è sufficiente inserire un dispositivo che metta in corto circuito la batteria, magari comandato a distanza, e parcheggiare la vettura in un parcheggio sotterraneo...

In ogni caso è opportuno osservare che, se la batteria è dotata di un adeguato BMS, la probabilità di incendio è grandemente ridotta, tuttavia, in quei pochi casi in cui si verifica, può avere conseguenze particolarmente gravi. Infine, in caso di incidente si consiglia di tenersi lontano dai veicoli elettrici coinvolti, perché l'incendio o l'esplosione possono verificarsi in modo inaspettato anche dopo parecchio tempo.

3. I pericoli di folgorazione

Un altro rischio insito nei veicoli elettrici è legato all'elevata tensione a cui il sistema elettrico lavora. Per i sistemi operanti in corrente continua si considerano a bassa tensione quelli in cui la tensione di alimentazione non supera i 48-50 V. Sopra i 50 V si parla di sistemi ad alta tensione, e il rischio è, a parità di tensione, maggiore di quello che presentano i più comuni sistemi a corrente alternata.

Ciò nonostante, le auto elettriche, e anche quelle ibride (a eccezione di quelle che vengono normalmente definite «mild hybrid»), operano a tensioni superiori a 50 V, in generale fino a 400 V o anche di più (per avere un termine di paragone, le reti tramviarie operano generalmente a 600 V e quelle ferroviarie in corrente continua a 3600 V, in Italia). Questo è reso necessario dal fatto che, a parità di potenza, la corrente è inversamente proporzionale alla tensione, e al crescere della corrente crescono sia la massa del sistema che le perdite dovute alla resistenza elettrica. Un sistema a bassa tensione, che gestisce potenze elevate, è quindi pesante e il suo rendimento è basso.

Tutte le volte che una persona può venire in contatto, o meglio, essere attraversata da una corrente elettrica – folgorazione o elettrocuzione – si parla di rischio elettrico ed esiste tutta una serie di normative in merito, in particolare per gli impianti industriali e domestici. La normativa distingue tre modalità in cui la folgorazione può avvenire:

- per contatto diretto, quando si viene in contatto con una parte sotto tensione dell'impianto elettrico;
- per contatto indiretto, quando si viene in contatto con una parte normalmente non sotto tensione dell'impianto elettrico ma che, per un guasto o un malfunzionamento, si trova sotto tensione;

– per arco elettrico, quando non si ha contatto diretto, ma si ha una scarica elettrica attraverso l'aria.

Il contatto con una parte dell'impianto sotto tensione ha vari tipi di effetti sull'uomo (o su un animale), la cui gravità e durata dipendono dalla tensione e dalla corrente che fluisce attraverso il corpo:

– se la corrente che fluisce attraverso il corpo va da 0,5 a qualche mA (milliampere), si avverte solo un formicolio nella zona di contatto,

– per correnti superiori a 10 mA, si ha la *tetanizzazione*, un irrigidimento muscolare che causa una paralisi temporanea; *arresto della respirazione*, quando l'irrigidimento muscolare impedisce la respirazione; *fibrillazione ventricolare*, in cui viene compromesso il funzionamento del cuore; *ustioni*, causate dal riscaldamento della pelle, in particolare nella zona in cui avviene il contatto.

In condizioni normali il rischio di venire in contatto con parti sotto tensione è minimo: le batterie sono contenute in una scatola metallica e i cavi ad alta tensione, oltre che isolati, sono facilmente identificati dal colore arancione. Soltanto manipolando i sistemi di sicurezza del veicolo si può entrare in contatto con una parte sotto tensione.

In caso di incidente è possibile avere un'intrusione di altre parti nella scatola delle batterie o la rottura dell'isolante; in questo caso parti della carrozzeria possono entrare in contatto con parti sotto tensione. Tutte le vetture elettriche hanno un interruttore generale che, in caso di incidente, toglie automaticamente tensione a tutti i circuiti alimentati dalle batterie di trazione, e in qualche caso anche dal circuito a bassa tensione, generalmente a 12 V, che alimenta tutte le utenze elettriche non coinvolte con la trazione (luci, piccoli motori elettrici, calcolatore di bordo, ecc.) e talvolta il

condizionatore d'aria e il sistema di riscaldamento elettrico.

In ogni caso, una vettura elettrica che ha subito un incidente va trattata con molta circospezione, poiché si può verificare quello che in precedenza è stato definito un contatto indiretto. Il contatto tra parti a tensione differente potrebbe inoltre causare surriscaldamenti locali e innescare l'incendio delle batterie, anche dopo un certo tempo. La normativa già in vigore permette di ridurre i rischi, ma la tecnologia è in evoluzione e una maggiore standardizzazione è importante per permettere alle vetture elettriche di raggiungere lo stesso livello di sicurezza ormai raggiunto dalle vetture convenzionali.

4. Altri pericoli

A questi rischi si aggiunge la possibilità di un altro tipo di incidente: i veicoli elettrici sono molto più silenziosi di quelli convenzionali e spesso i pedoni hanno difficoltà a percepirne l'arrivo. Questa preoccupazione era piuttosto forte quando i veicoli elettrici sono stati messi in commercio, tuttavia sembra che fosse una preoccupazione eccessiva, dato che non si sono verificati incidenti attribuibili a questa causa.

Tutto sommato, i veicoli elettrici non si sono rivelati più pericolosi degli altri veicoli e anche i rischi maggiori, quelli legati agli incendi causati dalle batterie e a folgorazioni elettriche, si sono dimostrati gestibili senza eccessivi problemi. Più si allargherà l'esperienza con la loro tecnologia, più i rischi si riveleranno analoghi a quelli di qualsiasi altro veicolo. Resta in ogni caso il rischio di incendi spontanei e non prevedibili, che, anche se improbabili, sono particolarmente gravi a causa della difficoltà di spegnimento e alla possibilità di esplosione.

I rischi geopolitici

1. Le vere motivazioni della transizione all'elettrico

Non ci sono dubbi sul fatto che alla base dei molti allarmismi costantemente e ossessivamente lanciati, riguardanti l'inquinamento, i cambiamenti climatici, addirittura le epidemie – per citare i più diffusi –, non ci sia tanto la volontà di risolvere i problemi specifici, quanto quella di raggiungere determinati fini politici¹. Questi moderni «profeti», che ci annunciano «apocalissi» di tutti i tipi, seguono una ben precisa agenda politica, in chiave spesso anti-occidentale e anti-capitalista. Il loro vero fine è indurci a cambiare non soltanto il nostro modo di vivere e di produrre, ma addirittura il nostro modo di pensare.

Oltre agli obiettivi politici ci sono interessi economici ben precisi, basti pensare all'economia e alla finanza «green» e a quella «woke», e persino al coinvolgimento della criminalità organizzata nella costruzione di parchi eolici e altre infrastrutture della cosiddetta «green economy».

Ma l'infatuazione per l'auto elettrica è qualcosa di più profondo e globale, che coinvolge i grandi giochi di potere a livel-

¹ G. Genta, P. Riberi, *I profeti dell'Apocalisse*, Lindau, Torino 2024.

lo planetario. Non si tratta soltanto dunque di ideologie e di politiche a livello di singole nazioni o gruppi di potere, ma dei grandi giochi geopolitici per la prevalenza economico-politica.

La transizione energetica, e in primo luogo la sostituzione delle vetture convenzionali con l'auto elettrica, rientra pienamente nello scontro descritto in modo quasi profetico da Samuel P. Huntington nel suo *Lo scontro delle civiltà e il nuovo ordine mondiale*² e chiaramente annunciato da Vladimir Putin in molti discorsi in cui il presidente russo annuncia lo scontro tra il Nord e il Sud del mondo, in cui il Nord è di fatto identificato con la civiltà occidentale e il Sud con una coalizione variegata che comprenderebbe l'Europa orientale, la Cina e in generale i cosiddetti BRICS, spinti a partecipare a questo anti-occidentalismo esasperato, anche se alcuni di essi sembrano dissentire da queste politiche.

A prima vista queste affermazioni potrebbero sembrare parecchio esagerate e addirittura venate di complottismo, eppure sono la logica conseguenza di quanto vediamo quotidianamente.

2. La tradizione automobilistica

I veicoli convenzionali hanno beneficiato di un secolo di sviluppo tecnologico e produttivo a opera di aziende americane ed europee. In questo senso si può affermare che l'automobile così come l'aeroplano segnano l'apice della rivoluzione industriale. Di fatto sono a tutti gli effetti un prodotto della civiltà occidentale.

²S. P. Huntington, *Lo scontro delle civiltà e il nuovo ordine mondiale*, Garzanti, Milano 1997.

La tradizione del veicolo a motore nasce in Gran Bretagna (forse più in Scozia che in Inghilterra), patria della rivoluzione industriale, nella forma iniziale della carrozza a vapore. Si può anche indicare una data di nascita: l'anno 1800, quando giunsero a scadenza i brevetti di James Watt e molti iniziarono a cimentarsi con macchine a vapore operanti a pressioni decisamente più elevate della pressione atmosferica e quindi con rapporto peso/potenza sufficientemente basso da permetterne l'uso come propulsore per veicoli terrestri.

Tuttavia la Gran Bretagna in qualche modo si pose fuori gioco, grazie a una serie di decisioni politiche che bloccarono la nascente industria delle carrozze a vapore; decisioni formalmente ispirate alla necessità di disciplinare un veicolo che veniva percepito dall'opinione pubblica come pericoloso, ma in realtà abilmente manovrate dalle nascente lobby dei proprietari delle ferrovie e dei canali navigabili.

L'intervento legislativo più significativo è sicuramente il Red Flag Act, del 1865, che non solo imponeva una velocità massima di 3 km/h in città e di 6 km/h su strada extraurbana, ma prevedeva anche che i veicoli a motore fossero preceduti da un uomo a piedi che ne segnalasse l'avvicinarsi con una bandiera rossa di giorno e una lanterna di notte. Dopo l'introduzione di questa legge i veicoli a motore scomparvero dalle strade inglesi.

Lo sviluppo dei veicoli a motore proseguì nel continente europeo, prima in Francia e poi principalmente in Germania e Italia, e negli Stati Uniti in forme differenti, che si adattavano alla diversa configurazione del territorio e alle differenti strutture economiche.

Quando la legislazione inglese iniziò a essere liberalizzata nel 1896 – e in Gran Bretagna quell'evento viene tuttora festeggiato dagli appassionati di automobili con

l'«Emancipation Run» da Londra a Brighton – anche in quel paese si assistette allo sviluppo di un'industria automobilistica con caratteristiche diverse da quelle europee o americane.

Dopo la seconda guerra mondiale il Giappone è entrato pesantemente in questo settore, grazie anche all'opera di William Edwards Deming, economista, filosofo e dirigente di azienda che vi aveva esportato i suoi metodi basati sull'aumento della qualità del prodotto e la riduzione dei costi. Metodi che aveva sviluppato negli Stati Uniti per ovviare al problema di mantenere un elevato standard nella produzione bellica nonostante l'invio al fronte di molti tecnici specializzati. Alla fine del conflitto fu incaricato di aiutare l'industria giapponese a uscire dalla situazione in cui era ridotta, innescando una rivoluzione che portò il Giappone a essere competitivo in molti settori, quello dell'automobile in particolare, tanto da venire considerato una sorta di eroe nazionale nel paese del Sol Levante.

Anche l'industria automobilistica giapponese ha quindi stretti legami con l'Occidente e ha partecipato a quell'evoluzione che ha portato al moderno veicolo con motore a combustione interna. In seguito, la Corea del Sud ha percorso una strada analoga raggiungendo buoni standard qualitativi.

Come già detto, a partire dagli anni '60 il progresso nel settore automobilistico si è concentrato sulla sicurezza, l'inquinamento, i consumi e le relative emissioni di gas serra, realizzando un prodotto estremamente complesso, ma molto più sicuro, poco inquinante e caratterizzato da consumi ridotti e una limitatissima manutenzione. In effetti, il veicolo convenzionale ha raggiunto livelli tecnologici che vanno ben oltre le esigenze dell'utente medio, che ne utilizza solo una piccola parte delle potenzialità.

Per l'industria automobilistica la vera sfida è continuare a produrre veicoli in grande serie a costi contenuti. Per questo motivo, tra i tecnici del settore, l'affermazione che è più semplice progettare una «supercar» che un'utilitaria è divenuta un luogo comune.

A parte le «supercar» (Ferrari, Lamborghini, Pagani, per citare alcuni dei marchi più famosi), prodotte su scala ridotta, vendute a prezzi molto elevati e non seguendo la tradizionale distinzione in classi, caratterizzate da una lettera dell'alfabeto (A, B, C, ecc.) e indicanti le dimensioni e il prezzo dei veicoli, in base alle prestazioni, il mercato può essere suddiviso, a grandi linee, in due settori:

1. Un settore medio-basso, caratterizzato da veicoli con prestazioni adeguate alle aspettative dell'utente medio, prodotti in larghissima scala, a costi bassi. Per realizzarli non è necessario avere a disposizione una specifica tradizione industriale.

2. Un settore alto, con prestazioni allo stato dell'arte: veicoli apprezzati da un ristretto numero di appassionati in grado da utilizzarne le prestazioni (compatibilmente con le limitazioni di legge ed eventualmente in pista) e da chi, avendo notevoli disponibilità economiche, cerca marchi di prestigio.

Il primo settore copre buona parte del mercato e probabilmente si espanderà nel prossimo futuro. Il secondo settore, che ha visto in passato uno sviluppo, potrebbe avere una forte contrazione in futuro. Le cause sono molteplici: dall'attuale crisi della classe media alla tendenza tipica di molti giovani a non possedere un autoveicolo, ma a utilizzare veicoli in affitto o in «car sharing», e infine alle legislazioni che penalizzano sempre di più l'uso del veicolo privato.

3. Dove vengono sviluppati e prodotti i veicoli elettrici

L'industria automobilistica cinese, praticamente inesistente sino a un passato recente, ha seguito una via differente, un po' per ovviare all'elevatissimo inquinamento di megalopoli come Pechino e Shanghai³, ma soprattutto per non dover competere sullo stesso terreno con l'industria giapponese e occidentale, ripercorrendo il lungo percorso di sviluppo per giungere a produrre veicoli competitivi.

Inizialmente la produzione cinese di veicoli elettrici si è affiancata a una nascente industria automobilistica convenzionale, pur godendo di molte facilitazioni economiche, che non sarebbero possibili in un'economia di mercato. In questo modo, non dovendo sottostare a una vera competizione e potendo talvolta vendere i veicoli a prezzi persino inferiori ai costi di produzione, in Cina l'industria dei veicoli elettrici e delle relative batterie ha potuto avere un notevole sviluppo, in parallelo a quelle dei pannelli solari, dei generatori eolici e, in generale, alla cosiddetta «green economy».

Peraltro, a consentire questa crescita non è stata soltanto la struttura economica dell'economia cinese, ma anche:

- le leggi meno restrittive in materia di inquinamento, che hanno permesso di estrarre e raffinare i materiali critici per questa industria, come il litio o il neodimio, che non potevano più essere estratti nei paesi occidentali a causa dei costi dovuti alle leggi «green»,
- il largo uso di carbone per produrre l'energia necessaria a queste produzioni,

³ Si ricorda che la popolazione di Pechino (2024) è di 21,7 milioni di abitanti e quella di Shanghai di 24,2 milioni. Tuttavia nel paese vi sono molte altre città enormi, magari ancora più popolate della capitale; ad esempio la popolazione di Chongqing supera i 30 milioni.

- il basso costo della manodopera,
- l'assenza di pregiudizi anti-nucleari che permette di costruire centrali di questo tipo,
- la struttura autoritaria della società cinese, che consente al governo di prendere decisioni in tutti i campi e soprattutto di attuarle senza tenere conto di eventuali opinioni contrarie.

Attualmente la Cina è riuscita a conquistare una posizione di leadership nella produzione di auto elettriche e delle relative batterie, e anche in altri settori legati alla transizione energetica, come quelli dei pannelli solari e dei generatori eolici.

Di fatto, se le attuali intenzioni di rendere obbligatorio il passaggio ai veicoli elettrici in tempi brevi verranno mantenute, l'industria europea non sarà in grado di produrre un numero sufficiente di veicoli di questo tipo, e soprattutto di produrli in modo competitivo. La conseguenza sarà una crisi irreversibile dell'industria autoveicolistica europea, che coinvolgerà tutto il settore, componentistica compresa.

Nel capitolo 5 si è parlato diffusamente dei conseguenti problemi sociali, sia in termini di disoccupazione che di peggioramento delle condizioni economiche e ambientali. I rischi politici di un indebolimento dell'Occidente democratico, nel confronto con i regimi autocratici, sono purtroppo evidenti.



Le alternative

Se le auto elettriche hanno il vantaggio (spesso presunto, come si è visto) di ridurre l'emissione di gas serra e di gas inquinanti, esso tuttavia si riduce molto o svanisce se si tiene conto dell'intera vita del veicolo, e lo si paga con un costo elevato e un consumo energetico maggiore. I problemi più gravi saranno quelli economici e sociali in Europa e, anche se in minor misura, negli Stati Uniti.

Viene spontaneo chiedersi se, almeno a breve termine, non ci siano altre soluzioni che consentano di ottenere i medesimi vantaggi, senza gli stessi inconvenienti, e possibilmente in misura maggiore.

1. Biocarburanti e carburanti sintetici

L'alternativa più semplice è l'uso di biocarburanti o di carburanti sintetici in veicoli convenzionali. In entrambi i casi, non trattandosi di combustibili fossili, la loro produzione (da parte delle piante o di impianti industriali) sottrae all'atmosfera la stessa quantità di anidride carbonica di quella poi prodotta dalla combustione. Si tratta quindi di

combustibili «carbon neutral», come si dice ora utilizzando una locuzione inglese.

Per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico, i motori che utilizzano biocarburanti producono un inquinamento non superiore a quello prodotto usando combustibili convenzionali, inquinamento che per rientrare nei limiti imposti dai regolamenti è decisamente basso. Pur essendo difficile arrivare a un inquinamento nullo (in gergo, *Zero Emission Vehicle*, abbreviato con ZEV), che peraltro non viene ottenuto neppure dai veicoli elettrici, si può ridurre l'inquinamento a valori estremamente bassi.

Anche la critica secondo cui la produzione di biocarburanti renderebbe necessario dedicare grandi appezzamenti di terreno alla coltivazione di piante da trasformare in carburanti, riducendo la produzione di cibo e quindi aumentandone il prezzo, può essere superata utilizzando prodotti vegetali di scarto, che vengono comunque distrutti (spesso bruciati, producendo anidride carbonica e inquinanti) o restano inutilizzati.

I carburanti sintetici, prodotti da batteri geneticamente modificati in grandi bioreattori mediante processi simili alla fotosintesi (fotosintesi artificiale), sono esenti da questa critica e non hanno controindicazioni.

Si tratta di processi che, a partire dall'energia del sole, dall'acqua, dall'anidride carbonica atmosferica e da scarti agricoli di vario genere, produrranno metano e da questo idrocarburi più complessi.¹

¹ Vedi G. Saracco, *Chimica Verde 2.0*, Zanichelli, Bologna 2017.

2. Idrogeno

Spesso si propone l'uso di idrogeno come carburante per autotrazione. In effetti, bruciando idrogeno non si produce anidride carbonica, ma solo acqua, e anche l'inquinamento è più facile da contenere a livelli molto bassi. Sicuramente la combustione dell'idrogeno non produce idrocarburi incombusti, particolato e monossido di carbonio, ma solo ossidi di azoto in quantità contenuta. Per di più, l'idrogeno si può utilizzare bruciandolo in un motore termico (alternativo, a turbina, a vapore, ecc.) come qualsiasi altro combustibile o producendo direttamente energia elettrica in una cella a combustibile.

È opportuno ricordare che l'idrogeno è stato utilizzato nell'800 per i primi tentativi di realizzare motori a combustione interna. I prototipi sviluppati da Barsanti e Matteucci o da De Rivaz funzionavano infatti a idrogeno. Ma all'epoca il problema era realizzare un motore in grado di funzionare e non alimentare un gran numero di motori in modo efficiente, economico e con ridotto inquinamento, tramite una rete di distribuzione capillare.

Il primo problema dell'idrogeno è il fatto di non essere una fonte di energia: pur essendo la sostanza più comune nell'universo, il nostro pianeta non contiene idrogeno libero. Si può dire che tutto l'idrogeno disponibile sulla Terra è «già bruciato» (acqua) o combinato con una varietà di altri elementi, formando differenti composti. Per estrarre l'idrogeno è necessaria una certa quantità di energia, energia che viene poi restituita (parzialmente, dato che il secondo principio della termodinamica esclude di avere rendimenti del 100%) quando l'idrogeno si ricombina con l'ossigeno. L'idrogeno è quindi un accumulatore di energia, una sorta di batteria chimica.

Il modo concettualmente più semplice per produrre idrogeno è l'elettrolisi dell'acqua, che però richiede grandi quantità di energia elettrica. L'acqua può essere decomposta anche dal calore (termolisi), ma la temperatura a cui si dissocia spontaneamente è di circa 2500 °C, troppo alta per le applicazioni industriali, anche se per ridurla si possono utilizzare opportuni catalizzatori. Il ciclo zolfo-iodio è promettente per la produzione di idrogeno da acqua ad alta temperatura nei reattori nucleari.

In realtà, solo il 3% circa dell'idrogeno attualmente prodotto viene ottenuto mediante elettrolisi, mentre il resto è ricavato da reazioni chimiche che coinvolgono un combustibile fossile, come gas naturale o petrolio. Un approccio comune è il cosiddetto *reforming* con vapore, o *steam reforming*, in cui il vapore reagisce ad alta temperatura (700-1100 °C) con il metano, ottenendo monossido di carbonio e idrogeno. Il primo reagisce poi con l'acqua a circa 130 °C, dando anidride carbonica e altro idrogeno.

Questo modo di produrre idrogeno ha un'efficienza energetica dell'80%, pertanto la quantità di energia che si ottiene bruciando l'idrogeno è decisamente inferiore a quella che si otterrebbe bruciando direttamente il metano. Queste reazioni producono grandi quantità di anidride carbonica e la quantità complessiva di gas serra, che viene emessa trasformando il metano in idrogeno e bruciando quest'ultimo, è maggiore di quella che si ottiene, a parità di energia termica prodotta dalla combustione, bruciando direttamente il metano. Le cose possono migliorare (di poco) utilizzando l'idrogeno in una cella a combustibile, purché l'efficienza del sistema costituito da quest'ultima e dal motore elettrico sia maggiore di quella del motore termico.

Come avviene per le batterie elettrochimiche, l'uso dell'idrogeno, come vettore di energia per l'alimentazione di veicoli, ha poco senso con riferimento all'attuale mix di fonti di energia primaria, anche nei paesi in cui la quota di energia elettrica generata da energia nucleare è notevole, come in Francia (75,2%). Il problema non è produrre idrogeno ma, come si dice, «idrogeno verde», cioè idrogeno prodotto da fonti rinnovabili o comunque diverse dai combustibili fossili. Ad esempio, la produzione di bioidrogeno, vale a dire la conversione di biomasse e rifiuti biologici in bioidrogeno mediante gassificazione della biomassa, *steam reforming* o conversione biologica (tramite elettrolisi biocatalitica o fermentazione), appare molto promettente, anche se non realizzabile a breve termine.

Oggi è molto meglio utilizzare combustibili fossili per i veicoli e le altre fonti per la produzione di energia elettrica.

Ma anche se i problemi relativi alla produzione di idrogeno su larga scala venissero risolti, restano quelli legati allo stoccaggio del combustibile, sia «a terra» che a bordo veicolo, e alle infrastrutture di distribuzione e rifornimento. Si possono realizzare, e sono effettivamente stati costruiti, prototipi con prestazioni soddisfacenti e anche una piccola produzione di serie è possibile in un futuro a breve termine, in particolare se si tratta di veicoli con possibilità di essere alimentati sia con combustibili tradizionali, ove l'idrogeno non sia disponibile, che con idrogeno. I problemi per la produzione su larga scala e il contenimento dei costi sono però ancora tutti da risolvere.

La stessa caratteristica che rende l'idrogeno così adatto per le applicazioni aerostatiche, cioè la bassa densità, è il principale inconveniente nelle sue applicazioni come com-

bustibile². Quando viene usato come propellente per razzi, l'idrogeno viene immagazzinato in forma liquida e la sua temperatura di ebollizione a pressione atmosferica è di circa 20 K cioè $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. In queste condizioni la sua densità è di soli 71 kg/m^3 , ossia $1/14$ della densità dell'acqua. Le dimensioni dell'enorme serbatoio dello space shuttle sono dovute proprio alla bassa densità dell'idrogeno, mentre sarebbero state dieci volte minori se si fosse utilizzato un idrocarburo come il cherosene. Inoltre, il serbatoio contenente idrogeno liquido deve essere riempito poco prima del lancio, dato che l'idrogeno tende a evaporare se immagazzinato per lungo tempo, con conseguenti sprechi e soprattutto col rischio di incendio, a causa della elevata infiammabilità della miscela di idrogeno e aria.

È proprio per questo motivo che negli ultimi anni, nelle applicazioni spaziali, l'idrogeno liquido è stato sostituito spesso con il metano liquido.

Nelle applicazioni automobilistiche è possibile utilizzare idrogeno liquido, ma il serbatoio deve essere un vero serbatoio criogenico, in grado di mantenere il suo contenuto a una temperatura di $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. È praticamente impossibile prevenire l'evaporazione dell'idrogeno mediante un isolamento passivo; si può pensare a un raffreddamento attivo, che però ha costi notevoli in termini di energia. Le difficoltà relative al riempimento del serbatoio con un liquido di questo genere, adottando le necessarie misure di sicurezza, sono notevoli. In ogni caso, è quello che la BMW aveva scel-

²Si può affermare che le applicazioni come combustibile e quelle aerostatiche sono in antitesi: per le seconde, serve un gas a bassissima densità ma non infiammabile (il disastro dell'Hindenburg insegna) e l'idrogeno è stato sostituito con l'elio; per le prime l'infiammabilità e soprattutto l'elevato potere calorifico sono pregi, ma la bassa densità è un difetto.

to per alimentare il prototipo di ricerca Hydrogen 7, che ora ha abbandonato.

Un'alternativa è immagazzinare l'idrogeno in forma gassosa in un recipiente pressurizzato. Vengono di solito impiegate bombole in grado di mantenere una pressione di 350 o 700 bar e sono allo studio soluzioni con pressioni anche maggiori. La densità dell'idrogeno a 800 bar è pari a $36,6 \text{ kg/m}^3$, circa la metà della sua densità in forma liquida alla pressione atmosferica. L'energia necessaria per comprimere l'idrogeno è pari a circa il 2% del contenuto totale di energia: non è quindi molto grande, pur essendo non trascurabile.

I problemi di sicurezza legati all'immagazzinamento di molti chilogrammi di un gas altamente infiammabile, mantenuto a pressioni così elevate a bordo di un veicolo, sono evidenti. Le operazioni di riempimento sono alquanto complesse e richiedono tempi considerevoli, anche se minori del tempo di ricarica delle batterie di un veicolo elettrico. Ulteriori aumenti della pressione di stoccaggio produrrebbero un aumento del peso del serbatoio, pertanto è necessario ricercare un compromesso tra la diminuzione del suo volume e l'aumento dello spessore di parete. Diversi costruttori, come GM, Honda e Nissan, hanno realizzato veicoli sperimentali in cui l'idrogeno è immagazzinato in questo modo.

Le due tecniche possono essere combinate utilizzando dispositivi di immagazzinamento criostatici in pressione: l'idrogeno è conservato in forma liquida a temperature bassissime, ma quando evapora non è inizialmente rilasciato all'esterno e la pressione viene fatta salire fino a circa 350 bar, in modo che si abbiano perdite molto più contenute, in particolare se nel frattempo il veicolo viene utilizzato e il carburante consumato.

Sono stati tentati altri approcci, che possono essere distinti in sistemi chimici e fisici. Nei primi l'idrogeno viene immagazzinato in composti chimici facilmente dissociabili (idruri metallici, carboidrati, o anche idrocarburi sintetici), ma lo svantaggio consiste nella necessità di avere a bordo un impianto per estrarre l'idrogeno dal composto, il che complica e rende più costoso il sistema di propulsione. L'ammoniaca (NH_3), al contrario, è un vettore di idrogeno che viene prodotto in grandi quantità e può essere bruciato in motori a combustione interna di tipo automobilistico leggermente modificati, tuttavia a temperatura e pressione standard è un gas tossico e maleodorante, e la sua combustione produce inquinanti quali gli ossidi di azoto. Per questo viene considerata praticamente solo per la propulsione navale.

I metodi fisici per immagazzinare l'idrogeno non richiedono che questo elemento sia legato chimicamente con altre sostanze. Ad esempio, l'idrogeno può essere immagazzinato in nanostrutture di carbonio, come i nanotubi, anche se la quantità di idrogeno immagazzinabile in questo modo è ancora argomento controverso. Altri materiali porosi, come strutture metallo-organiche, capillari in vetro, microsferi di vetro ecc., possono immagazzinare idrogeno, in particolare a bassa temperatura.

La ricerca procede e vengono continuamente scoperte nuove sostanze chimiche e dispositivi fisici, che però sono ancora lontani dal costituire sistemi sicuri ed efficienti di accumulo energetico. Comunque l'accumulo dell'idrogeno a bordo veicolo richiede serbatoi molto pesanti e ingombranti e non si vedono soluzioni a breve termine a questi problemi.

Come si è detto, l'idrogeno è il combustibile più pulito e può essere usato sia bruciandolo in un motore più o meno

convenzionale che facendolo reagire con l'ossigeno in una cella a combustibile. La prima alternativa è sicuramente la più semplice, dato che i motori a combustione interna possono essere facilmente convertiti all'utilizzo di idrogeno, tuttavia è caratterizzata da un basso rendimento, poiché l'energia chimica del combustibile deve essere prima convertita in energia termica e poi in energia meccanica, e il rendimento di quest'ultima trasformazione presenta le limitazioni indicate dal secondo principio della termodinamica.

La stessa reazione di combustione si verifica nelle celle a combustibile, in cui l'energia chimica viene convertita direttamente in elettrica, senza che venga liberata energia termica (o almeno, senza che l'energia chimica del combustibile venga globalmente trasformata in energia termica, dato che alcune celle a combustibile funzionano a temperature elevate, pur se inferiori a quelle tipiche della combustione). Tuttavia, anche se non vi è alcuna limitazione teorica all'efficienza di questo processo, il rendimento delle celle a combustibile è molto inferiore al massimo teorico del 100%. Inoltre, l'energia elettrica deve essere poi convertita in energia meccanica in un motore elettrico, e il rendimento di quest'ultimo deve essere tenuto in conto. Il rendimento complessivo è compreso tra il 20% e il 50%, a seconda del tipo di cella a combustibile, motore e regolatore utilizzati.

Infine, le celle a combustibile sono, a parità di potenza, molto più pesanti di un motore termico, quindi il loro uso per autotrazione resta alquanto problematico.

3. *Aria compressa*

Non esistono problemi tecnici a utilizzare l'aria compressa come vettore energetico: l'aria compressa contenuta in bombole ad alta pressione viene fatta espandere in un motore pneumatico, che può essere molto simile a un normale motore alternativo a combustione interna, anche se più semplice dato che, lavorando a freddo e non producendo inquinamento di nessun tipo, non ha bisogno di tutti quei dispositivi che oggi sono richiesti per rientrare nelle normative anti-inquinamento. Questo in parte compensa l'appesantimento del veicolo causato dalla presenza delle bombole necessarie a contenere il gas compresso.

Anche questa idea non è nuova e veicoli stradali di questo tipo sono stati sporadicamente realizzati a partire dal 1840 e veicoli ferroviari a partire dal 1879, ma – a parte annunci e presentazione di prototipi a qualche salone da parte di alcuni costruttori anche in tempi recenti – questo tipo di trazione non si è mai affermato.

I problemi, comuni a tutti i vettori energetici, sono partire da una fonte primaria di energia che non produca gas serra e contenere le perdite energetiche durante tutte le trasformazioni che vanno dalla fonte primaria alle ruote, che in questo caso sono piuttosto notevoli. Infatti è necessario per prima cosa comprimere l'aria (in generale mediante compressori meccanici azionati da motori elettrici, per cui ci sono tutte le perdite relative al passaggio dall'energia primaria a quella elettrica, al motore elettrico e poi alla compressione del gas). Le bombole vanno poi trasportate dal luogo in cui avviene la compressione al veicolo (e poi anche trasportate indietro per la ricarica, doppio trasporto che non è presente nell'uso di altri vettori energetici) e infine ci sono le perdite nel mo-

tore pneumatico. Comprimendola, l'aria si scalda e questa energia termica viene persa quando l'aria compressa viene immagazzinata e si raffredda. Durante l'espansione l'aria si raffredda raggiungendo temperature anche molto basse, fino a -40 °C. In questa fase si perde moltissima energia, anche se una piccola frazione può essere recuperata se l'aria fredda viene utilizzata per il condizionamento dell'abitacolo. Inoltre il motore tende a riempirsi di ghiaccio, per cui deve essere riscaldato, utilizzando altra energia.

Recentemente sono stati effettuati molti studi per aumentare il rendimento dell'accumulo di energia mediante aria compressa, ricerche che hanno dato luogo a vari brevetti, come quelli riguardanti l'aggiunta di aria a pressione atmosferica prima dell'espansione così da poter regolare il motore in modo meno inefficiente e impedire il raggiungimento di temperature molto basse. Si tratta comunque di tecnologie che richiedono ancora molto lavoro di sviluppo e peraltro non hanno grandi prospettive di successo se non su veicoli particolari.



Conclusioni

Oltre la grande illusione

1. Soluzioni a breve termine

Come si è visto nei capitoli precedenti, gli attuali veicoli elettrici non hanno superato quegli inconvenienti che hanno portato al loro abbandono all'inizio del XX secolo. È vero che le moderne batterie, soprattutto quelle al litio, hanno una densità di energia e una velocità di ricarica molto maggiori delle batterie al piombo di un secolo fa, ma l'autonomia che riescono a garantire è ancora scarsa e i tempi di ricarica sono troppo lunghi. Questi inconvenienti, che possono non essere determinanti nell'uso urbano del veicolo, sono invece molto importanti nei viaggi lunghi.

Per altro, come si è detto, sono inconvenienti tutto sommato marginali. Il problema è che un uso esteso dei veicoli elettrici causerebbe:

- una richiesta di energia elettrica che le attuali centrali non sono in grado di soddisfare;
- la necessità di trasportare questa energia dalle centrali ai luoghi di ricarica ben oltre le possibilità delle attuali reti di distribuzione;
- un notevole inquinamento nelle fasi di produzione e di smaltimento delle batterie;

- una considerevole emissione di gas serra nella produzione delle batterie e nella realizzazione delle infrastrutture necessarie per la ricarica;
- lo spostamento della produzione dei veicoli dagli attuali paesi produttori verso altri paesi, in particolare la Cina;
- la concentrazione della produzione delle batterie in paesi in cui le più blande normative anti-inquinamento e il possesso del *know-how* la rendono conveniente (nuovamente la Cina).

Come conseguenza degli ultimi due punti, si avrebbe uno spostamento della produzione autoveicolistica in generale dall'Europa (e dagli Stati Uniti) verso l'Estremo Oriente, comportando la decadenza economica della prima e soprattutto il forte aumento della disoccupazione e dei problemi sociali in generale nei paesi più coinvolti nella produzione di veicoli convenzionali (soprattutto Italia, Francia e Germania). Le conseguenze politiche sono prevedibili: un indebolimento delle democrazie e un rafforzamento dei regimi autocratici.

L'impraticabilità a breve termine della «soluzione elettrica» non vuol però dire la necessità di rassegnarsi a uno scenario in cui l'emissione di gas serra e l'inquinamento prodotto dal sistema dei trasporti restino invariati e magari aumentino.

L'unica soluzione alternativa, che appare praticabile e conveniente in tempi brevi, è la sostituzione dei carburanti prodotti da combustibili fossili con biocarburanti e carburanti sintetici. Questo permetterebbe di spostare la trasformazione dalla produzione di veicoli (che è, come si dice «*labour intensive*») alla produzione di carburanti (che invece richiede una ridotta manodopera) evitando i problemi di disoccupazione e lo spostamento della produzione da un paese all'altro.

Gli scarti agricoli possono essere la materia prima per produrre carburanti su larga scala e, in prospettiva, sarà possibile produrre carburanti sintetici direttamente, senza passare attraverso le piante.

Infine, è opportuno che questa linea venga chiarita in sede politica. L'attuale crisi del settore automobilistico, con chiusura di numerose aziende e conseguente aumento della disoccupazione in questo settore, è oggi parzialmente dovuta alle aspettative incerte per il futuro. La certezza che non si avrà una transizione forzata verso i veicoli elettrici in tempi ravvicinati potrebbe permettere una ripresa di un settore che è ancora fondamentale nelle economie di molti paesi.

2. Soluzioni per un futuro più lontano

Il fatto che la transizione verso il veicolo elettrico non possa essere effettuata in tempi stretti non vuol dire che si debba rinunciare ai veicoli elettrici in assoluto. Anche se la produzione di gas serra e l'inquinamento possono essere tenuti sotto controllo in altro modo, non è detto che si debba desistere per sempre dall'elettrificazione dei veicoli.

I veicoli elettrici a batterie presentano indubbiamente dei vantaggi, quali la maggior semplicità meccanica e la possibilità di tenere sotto controllo l'inquinamento senza dispositivi complessi necessari a rendere «green» i motori a combustione interna.

Per raggiungere i vantaggi, senza rassegnarsi a subire gli inconvenienti degli attuali veicoli elettrici, è necessario:

– Continuare la ricerca nel settore delle batterie, per realizzare batterie con più elevata densità di energia, velocità di carica, rendimento e durata e possibilmente non soggette a

problemi come l'infiammabilità. Attualmente molti filoni di ricerca sono aperti ed è possibile che si realizzino notevoli progressi anche in questo settore nel medio-lungo termine.

– Proseguire lo sviluppo delle centrali nucleari di nuova generazione. Solo in questo modo si avranno a disposizione le grandi quantità di energia elettrica, prodotta in modo non inquinante e senza l'emissione di gas serra, necessarie per la ricarica dei veicoli elettrici. Soltanto una società in cui l'energia sia disponibile in abbondanza, in modo economico e poco inquinante può permettersi un sistema di trasporto basato su veicoli scarsamente efficienti come i veicoli a batterie.

Probabilmente soltanto il passaggio dall'energia nucleare basata sulla fissione a quella basata sulla fusione permetterà di avere la disponibilità di energia necessaria a elettrificare il sistema dei trasporti.

In ogni caso la diffusione su larga scala dei veicoli elettrici, oltre a richiedere indispensabili sviluppi tecnologici, deve avvenire con la dovuta lentezza, senza produrre rapidi sconvolgimenti nel mercato e nell'economia, sconvolgimenti che non farebbero altro che creare problemi sociali, rischiando di rendere ancor più critica la situazione politica di molti paesi, in particolare di quelli europei.

È quindi possibile che quella che oggi è una «grande illusione» in futuro possa essere una realtà, purché la smania di affrettare le cose, tipica di certi politici, lasci il posto a una saggia gradualità, impedendo decisioni tecnicamente, socialmente e politicamente avventate e pericolose.

Bibliografia

NADER R., *Unsafe at Any Speed*, Grossman, New York 1965.

LOMBORG B., *L'ambientalista scettico*, Mondadori, Milano 2003.

GENTA G., MORELLO L., *L'automobile. Evoluzione di una tecnologia*, Edizioni ASI Service, Torino 2013.

GENTA G., GRANDI M., MORELLO L., *La più veloce. Breve storia dei record mondiali di velocità su strada*, Libreria Automotoclub Storico Italiano, Torino 2017.

GENTA G., RIBERI P., *I profeti dell'Apocalisse*, Lindau, Torino 2024.

HUNTINGTON S. P., *Lo scontro delle civiltà e il nuovo ordine mondiale*, Garzanti, Milano 1997.



Ringraziamenti

Un grazie a Ezio Quarantelli, direttore editoriale di Lindau, per avermi proposto di scrivere un breve saggio su questo argomento.

Come sempre, un grazie speciale a Franca che ha svolto con passione e professionalità il lavoro di rilettura e messa a punto di questo testo.



Indice

7	Prefazione
11	1. Dall'auto con motore a combustione interna all'auto elettrica
27	2. Il mito dell'elettrificazione
39	3. I consumi energetici
53	4. La disponibilità di energia elettrica
61	5. I costi sociali
67	6. I pericoli dell'auto elettrica
75	7. I rischi geopolitici
83	8. Le alternative
95	Conclusioni. Oltre la grande illusione
99	Bibliografia
101	Ringraziamenti