

MOBILITÀ ELETTRICA: STATO DELL'ARTE, SCENARI DI DIFFUSIONE, IMPATTI

Contributo di Simone Zagliani

La ricerca scientifica e la diffusione sempre maggiore stanno aumentando le prestazioni e riducendo i costi delle auto elettriche: la tecnologia al litio si è affermata nelle applicazioni automotive e la ricerca è concentrata su tecnologie ad alta energia specifica. L'abbattimento dei costi delle batterie, ancora elevati, richiede tuttavia economie di scala che difficilmente si potranno raggiungere in assenza di specifiche politiche di promozione. Gli scenari di consenso sulla diffusione della mobilità elettrica in Italia mostrano quindi visioni ancora divergenti, anche se il contributo alla riduzione delle emissioni di CO₂ e all'efficienza energetica rimane un punto di forza di questa tecnologia.

La mobilità elettrica è uno degli elementi cardine delle strategie di sviluppo energetico sul quale le istituzioni, i costruttori e le *utility* stanno attualmente focalizzando l'attenzione.

Con il termine "auto elettrica" (EV) si indicano sia le vetture ibride *plug-in* (PHEV, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) sia i veicoli *full electric* (BEV, *Battery Electric Vehicle*).

L'inasprimento delle norme antinquinamento sulle emissioni di gas serra, conseguente alla necessità di arginare il peggioramento della qualità dell'aria nei centri urbani e di rispondere agli accordi sovranazionali in materia di contenimento dell'innalzamento della temperatura media globale, la forte dipendenza del settore dei trasporti dal petrolio, l'emergere di una coscienza ambientalista nei consumatori, sono tutti fattori che contribuiscono alla recente ascesa dei mercati dei veicoli elettrici.

Contemporaneamente, l'offerta di veicoli a batteria e ibridi *plug-in* si è ampliata, comprendendo sia vetture per il mercato di massa sia auto premium. Nei prossimi anni sono attesi nuovi modelli, sempre più competitivi e performanti, come frutto di ingenti investimenti di ricerca da parte dei principali attori del settore automotive.

L'attuale diffusione è ancora contenuta: al 2015, la quota di auto elettriche si è attestata allo 0.1% del parco auto mondiale. Tuttavia, la percentuale è in costante aumento. Le immatricolazioni a livello mondiale hanno visto un incremento del 70% nel 2015 rispetto all'anno precedente, arrivando a toccare la quota dello 0.6% sul totale di nuove registrazioni. La quota media europea è superiore, attestandosi all'1.2% del mercato auto.

I risultati ottenuti nei paesi in cui la quota di mercato dei veicoli elettrici raggiunge valori superiori all'1%, sono la conseguenza dell'avvio di politiche esplicitamente volte a sostenere la mobilità elettrica. I meccanismi introdotti non sono limitati esclusivamente a contributi al momento dell'acquisto, ma comprendono incentivi all'uso dei veicoli elettrici e sistemi di supporto all'installazione di infrastrutture di ricarica, siano esse pubbliche o private. Tali esperienze mostrano che un approccio efficace a promuovere la *e-mobility* richiede, quindi, interventi su più fronti, che siano in grado di porre una soluzione ai fattori che costituiscono ancora una barriera alla diffusione delle auto elettriche: costi di acquisto elevati, autonomia (in elettrico) limitata, lunghi tempi di ricarica, assenza di interoperabilità tra i punti di ricarica gestiti da differenti operatori.

BATTERIE: FAVORITA LA TECNOLOGIA AL LITIO NELLE APPLICAZIONI AUTOMOTIVE

Le batterie costituiscono il componente chiave delle vetture elettriche in termini di peso, costo e volume.

Gli accumulatori di trazione devono soddisfare differenti requisiti a seconda della tecnologia di auto elettrica: le batterie per PHEV hanno prestazioni in potenza, mentre quelle per BEV prevalentemente in energia, anche se devono essere in grado di erogare picchi di potenza.

La necessità di raggiungere opportune economie di scala ha determinato lo sviluppo e la diffusione di un tipo di accumulatori in particolare: le batterie agli ioni di litio, la

TAG

alternative fuels, climate and environment, CO₂, energy efficiency, transport

cui adozione è stata favorita anche dai progressi ottenuti mediante le applicazioni nel campo dei personal computer e della telefonia mobile.

Il termine batterie agli ioni di litio comprende molti sottogruppi, caratterizzati dalla stessa struttura di base, ma da differenti caratteristiche dei materiali di cui sono costituiti gli elettrodi e l'elettrolita.

In base allo stato dell'elettrolita, si individuano due strutture chimiche per gli accumulatori di trazione:

- litio ioni con elettrolita allo stato liquido
- polimeri di litio, con elettrolita allo stato solido.

Le celle con elettrolita liquido possono essere fabbricate in forma cilindrica, prismatica, a bottone mentre quelle con elettrolita polimerico sono piatte, e possono così adattarsi meglio allo spazio disponibile nel pianale della vettura, consentendo una maggiore libertà di progettazione (fattore di primaria importanza nelle vetture *plug-in*, in cui il *powertrain* elettrico affianca quello termico in uno spazio limitato). Inoltre, la batteria allo stato solido è più sicura riguardo a possibili fuoriuscite dell'elettrolita.

L'anodo è tipicamente costituito da grafite o da titanato di litio. In base al materiale di cui è fatto il catodo si distinguono: batterie litio nichel cobalto alluminio (NCA), litio-ossido manganese (LMO), nichel cobalto manganese (NCM), litio ferro fosfato (LFP). Per citare alcune applicazioni, si menzionano la Nissan Leaf equipaggiata con il tipo LMO e la Chevrolet Bolt con il tipo NCM.

La tecnologia delle batterie al litio si è affermata nell'ambito automotive per l'ampio intervallo di temperature di funzionamento ($-30 \div 60$ °C), per la lunga vita attesa, per l'assenza di effetto memoria, per le elevate efficienza energetica ed energia specifica, per la rapidità di carica, per il basso tasso di autoscarica e per i processi produttivi semplificati.

Di contro, oltre al costo di produzione ancora alto, le celle litio ioni presentano alcuni svantaggi. Le prestazioni e la durata sono fortemente dipendenti dalla temperatura ambiente, degradando a basse e alte temperature (il *range* ottimale va dai 25 ai 40 °C). Inoltre, possono verificarsi condizioni di pericolo in caso di sovraccarico termico e/o elettrico; è pertanto necessario prevedere un sistema di bilanciamento delle tensioni di cella, un sistema di raffreddamento/riscaldamento e un *Battery Management System* in grado di controllare le grandezze di cella e di accumulatore, e di intervenire nell'eventualità di situazioni rischiose.

EVOLUZIONE TECNOLOGICA

LA RICERCA È CONCENTRATA SU TECNOLOGIE AD ALTA ENERGIA SPECIFICA

La ricerca sugli accumulatori per autotrazione è indirizzata verso tecnologie con migliori caratteristiche in termini di energia specifica. Le strutture chimiche che hanno migliori *performance*, rispetto alle attuali batterie al litio ioni sono: le zinco-aria, le litio-zolfo e le litio-aria, caratterizzate da valori di energia specifica superiori ai 1,000 Wh/kg, contro i circa 200 Wh/kg delle batterie al litio ioni, attualmente in uso.

Tuttavia, questi valori promettenti devono essere verificati nelle condizioni operative a causa dei vincoli a livello di cella, di sistema e degli effetti della temperatura. Le nuove strutture chimiche sono ancora a uno stadio sperimentale, pertanto si rendono necessari ulteriori studi per valutarne la compatibilità con i requisiti di durata e sicurezza.

Oltre alla ricerca di chimiche innovative, sono all'attivo analisi su materiali ad alta densità di energia per formare il catodo e l'anodo delle batterie agli ioni di litio. Per l'anodo si stanno sperimentando stagno e silicio, mentre per il catodo fosfato di litio vanadio fluoruro (LiVPO_4F), che consente di raggiungere tensioni più elevate.

Già oggi sono disponibili sul mercato batterie al litio aggiornate a standard maggiori di capacità, pur mantenendo le stesse dimensioni delle versioni precedenti. Un esempio è la BMW i3 dotata di accumulatori da 33 kWh, montati nel medesimo alloggiamento di quelli a capacità inferiore (22 kWh).

COSTI ANCORA ELEVATI PER L'ABBATTIMENTO DELLE BATTERIE

Il costo del pacco batterie di trazione costituisce una ragguardevole frazione del prezzo del veicolo elettrico. Il sistema di accumulo non comprende solo le singole celle, ma anche i cavi di collegamento, il *Battery Management System*, i componenti di elettronica di potenza e i supporti.

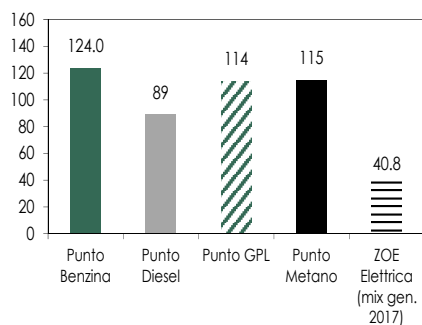
Solitamente, i produttori di auto e di componentistica sono restii a fornire il dettaglio dei costi, tuttavia, in occasione della presentazione della Chevrolet Bolt la General Motors ha diffuso il prezzo al chilowattora delle 288 celle agli ioni di litio di cui sono costituiti gli accumulatori di trazione della vettura: 145 \$/kWh, circa 138 €/kWh al cambio attuale. A questo valore va aggiunta una percentuale nell'ordine del 20-50% per i costi di produzione dell'intero pacco. Il costo complessivo si attesta a circa il 30% del prezzo di listino della vettura.

Sebbene il costo degli accumulatori sia a oggi uno degli ostacoli principali alla produzione e alla vendita di vetture elettriche, esso ha conosciuto una forte diminuzione dal 2008 a oggi: l'andamento del prezzo al kWh delle batterie di trazione mostra una riduzione del 65% nel periodo considerato.

Le aziende costruttrici si aspettano di riuscire a ottenere ulteriori cali di prezzo nei prossimi anni, da raggiungersi mediante l'incremento dei volumi delle vetture elettriche, l'ottimizzazione dei processi di produzione e le economie di scala, la flessibilità degli impianti (in grado di fabbricare celle per BEV, per PHEV e per veicoli ibridi non *plug-in*), la maggiore competitività del mercato e il miglioramento delle prestazioni delle batterie al litio ioni.

Tesla conta di tagliare del 30% il costo del pacco batterie della Model S una volta che la fabbrica di batterie Gigafactory opererà a regime (2018), rispetto agli attuali 190 \$/kWh per il pacco completo. General Motors ha in programma di raggiungere il *target* di 100 \$/kWh (per le sole celle) nel 2022.

FIGURA 1. EMISSIONI DI CO₂ PER TECNOLOGIA IN ITALIA A CONFRONTO FIAT PUNTO E RENAULT ZOE (Gco2/km)

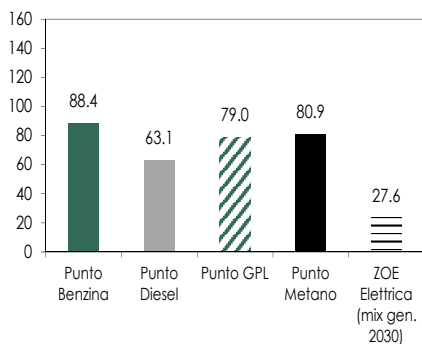


IL RUOLO DELL'AUTO ELETTRICA NELLA DECARBONIZZAZIONE DEI TRASPORTI

La progressiva elettrificazione dei sistemi propulsivi è la scelta verso la quale l'industria automobilistica si sta orientando per soddisfare i requisiti di emissioni di inquinanti e di gas serra imposti dalle Autorità. In particolare, i veicoli a batteria e quelli ibridi ricaricabili dalla rete elettrica rappresentano un cambiamento radicale rispetto ai *powertrain* tradizionali e offrono le maggiori opportunità di riduzione delle emissioni.

Si consideri una delle auto più diffuse in Italia, la Fiat Punto. L'auto non rappresenta lo stato dell'arte dei motori endotermici, ma è scelta in quanto offre quattro tipologie di alimentazioni: benzina, diesel, GPL, metano. Il confronto è stato effettuato prendendo in esame una vettura a batteria dello stesso segmento, la Renault ZOE. I risultati sono riportati in **Figura 1**.

FIGURA 2. CONFRONTO EMISSIONI DI CO₂ PER TECNOLOGIA IN ITALIA AL 2030 - AUTO DI SEGMENTO B (gCO₂/km)



I valori di emissione di anidride carbonica sono stati ricavati dai dati in esito alle prove effettuate mediante i cicli di omologazione attualmente in vigore, comunicati dalle case automobilistiche.

Per l'elettrica, il fattore di emissione è stato calcolato partendo dal *mix* di generazione attuale (2017), su dati di REF-E: 307 gCO₂/MWh. Al tubo di scarico, le emissioni di un veicolo *full-electric* sono infatti nulle.

Le differenze sono evidenti: le emissioni dell'elettrica, rispetto alla Punto alimentata a benzina, sono inferiori del 68% e del 55% rispetto alla Punto diesel.

Anche in prospettiva di un miglioramento dell'efficienza dei motori a combustione interna, a partire da oggi fino al 2030, il quadro non è destinato a cambiare (**Figura 2**).

Il fattore di emissione associato al sistema di generazione dell'energia elettrica al 2030 è stato calcolato considerando lo scenario di REF-E riguardante il *mix* di produzione: il valore ottenuto è pari a 238 gCO₂/kWh. Non è stato ipotizzato un miglioramento dell'efficienza del motore elettrico; il vantaggio in termini di emissioni dipende dal *mix* di generazione dell'energia elettrica.

È palese, che la mobilità elettrica non sia l'unica soluzione sondata per il conseguimento dei programmi di decarbonizzazione dei trasporti: biocarburanti e combustibili gassosi

sono altre tecnologie in grado di abbattere le emissioni di CO₂, anche se, come osservato, non a un livello tale da competere con la tecnologia *full-electric*.

Tuttavia, l'impiego di veicoli elettrici porterebbe anche a un migliore utilizzo delle capacità della rete e della generazione disponibile, se abbinato a dispositivi che in grado di realizzare la ricarica intelligente.

SCENARI

LO SVILUPPO DELLA MOBILITÀ ELETTRICA È SUBORDINATO ALL'ANDAMENTO DEI COSTI E ALLE POLITICHE DI SOSTEGNO

Gli scenari di sviluppo della quota di mercato e dello *stock* di vetture elettriche sono caratterizzati da un elevato grado di incertezza, legata alle politiche che i governi nazionali e sovranazionali intendano adottare, all'andamento dei costi di acquisto e della domanda dei consumatori.

SCENARI NAZIONALI

Gli obiettivi di sviluppo della mobilità elettrica sono uno dei pilastri per i target di decarbonizzazione in Europa, e pertanto sono sostenuti da meccanismi incentivanti.

Alcuni paesi hanno avviato programmi per favorire la mobilità elettrica, definendo importanti obiettivi per il periodo 2020-2025.

Gli Stati nordeuropei sono all'avanguardia: i governi di Danimarca, Svezia e

Norvegia si sono prefissati di raggiungere la completa decarbonizzazione entro il 2050. La Finlandia intende tagliare l'80% delle emissioni di gas serra rispetto ai valori del 1990, mentre l'Islanda ha definito una riduzione nell'ordine del 50-70%. Il supporto all'elettrificazione dei trasporti è considerato fondamentale nel progetto di azzeramento (o diminuzione) delle emissioni di GHG, e si è concretizzato mediante l'introduzione di provvedimenti incentivanti.

In **Tabella 1** sono riassunti gli obiettivi fissati dai singoli Paesi in termini di parco circolante di auto elettriche al 2020.

La Norvegia ha già superato il traguardo dei 50,000 veicoli elettrici su strada al 2015.

TABELLA 1. TARGET AL 2020 PER IL PARCO CIRCOLANTE DI EV IN UN CAMPIONE DI PAESI EUROPEI

Paese	Stock di EV al 2015 (in migliaia)	Target di EV circolanti al 2020 (in milioni)	Quota di mercato di EV tra il 2016 e il 2020 (%)	Quota di EV sul totale parco auto al 2020 (%)
Austria	5.3	0.2	13%	4%
Danimarca	8.1	0.2	23%	9%
Francia	54.3	2.0	20%	6%
Germania	49.2	1.0	6%	2%
Irlanda	2.0	0.1	8%	3%
Paesi Bassi	87.5	0.3	10%	4%
Portogallo	2.0	0.2	22%	5%
Spagna	6.0	0.2	3%	1%
Regno Unito	49.7	1.6	14%	5%

Fonte: Global EV Outlook 2016, IEA

SCENARI PER L'ITALIA

GLI SCENARI DI CONSENSO SULLA DIFFUSIONE DELLA MOBILITÀ ELETTRICA IN ITALIA MOSTRANO VISIONI DIVERGENTI

Le stime dell'evoluzione del mercato di auto elettriche per l'Italia, che caratterizzano lo scenario REF-E 2016, seguono l'andamento determinato dalle politiche in merito alla mobilità sostenibile in vigore a livello comunitario al dicembre 2014¹. In **Tabella 2**

sono riassunti i dati sul quantitativo di EV presenti sul territorio italiano nel periodo compreso tra il 2020 e il 2050, secondo le proiezioni dello scenario REF-E 2016.

Enel nel 2013 ha stimato una penetrazione di auto elettriche sul totale immatricolato in Italia compresa tra il 5-6% e il 30%, al 2020. Il parco circolante potenziale va da 850,000 a 3,800,000 esemplari.

La CIVES, Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali a Batteria, Ibridi e a Celle Combustibili, ha elaborato il proprio scenario di diffusione della mobilità elettrica sulla base del vincolo comunitario di una media di 95 g/km di anidride carbonica per i modelli venduti nel 2021.

¹ A European Strategy for Low-Emission Mobility.

In accordo a questo scenario, il parco circolante di EV al 2020 in Italia sarà di 426.000 esemplari, equamente suddiviso tra vetture a batteria e vetture plug-in.

In accordo con questo scenario, il parco circolante di EV al 2020 in Italia sarà di 426,000 esemplari, equamente suddiviso tra vetture a batteria e vetture *plug-in*. RSE individua uno *stock* di auto elettriche in Italia pari a 10 milioni di esemplari al 2030².

Uno studio del Politecnico condotto sulla mobilità elettrica illustra le stime che si articolano su due scenari possibili, entrambi aventi come orizzonte temporale il 2020: uno scenario detto “EV *pull*”, fondato sull’ipotesi che l’affermazione della *e-mobility* passi attraverso le vendite attese nel mercato italiano di vetture elettriche sulla base delle previsioni degli operatori di settore; uno scenario “PNIRE *push*”, nel quale si impone che i volumi del mercato siano dettati dall’infrastruttura di ricarica, tenendo in considerazione la stima del numero di colonnine di ricarica installate in base al PNIRE³.

Secondo il primo scenario, i veicoli elettrici che verranno introdotti sulle strade italiane tra il gennaio 2017 e il dicembre 2020 saranno 70,000, con una quota di mercato in crescita dallo 0.3% del 2017 al 2% del 2020.

Il programma PNIRE mette a disposizione 33.5 milioni di euro entro il 2020, sufficienti per l’installazione di 4,500-13,000 punti di ricarica pubblici *normal power* e 2,000-6,000 paline *high power* accessibili al pubblico. Lo scenario “PNIRE *push*” individua 130,000 vetture elettriche circolanti al 2020, l’85% in più rispetto alla simulazione “EV *pull*”.

CONSIDERAZIONI SULLA MOBILITÀ ELETTRICA E SUGLI SCENARI PER L’ITALIA

Nonostante le dimostrate potenzialità dell’auto elettrica nella riduzione delle emissioni di GHG, in Italia l’assenza di una vera politica di supporto alla mobilità elettrica ne limita lo sviluppo

Le potenzialità associate alla diffusione mobilità elettrica sono chiare. In una prospettiva in cui si individuano maggiori necessità di spostamento di merci e persone e un incremento del tasso di urbanizzazione, lo sviluppo di un trasporto a basse emissioni di gas serra e di inquinanti è di vitale importanza per il miglioramento della qualità dell’aria e per il raggiungimento degli obiettivi di contenimento del surriscaldamento globale.

L’affermazione della mobilità elettrica coinvolge pertanto le autorità politiche, le Case automobilistiche e gli *stakeholders* del settore energetico, oltre che i consumatori. Tuttavia, ciò che manca a oggi è una decisa politica di supporto alla domanda, da ottenersi non solo mediante incentivi all’acquisto, necessari a colmare il divario di prezzo che ancora interessa la tecnologia elettrica, ma anche tramite incentivi all’utilizzo del veicolo elettrico e iniziative atte a informare gli acquirenti riguardo le potenzialità dell’auto elettrica. Nei paesi in cui queste misure sono state messe in campo, i risultati si sono verificati: emblematico è il caso della Norvegia, in cui la quota di mercato dei veicoli elettrici è stata superiore al 30% nel 2016. Di altrettanto interesse è la situazione dei Paesi Bassi, in cui la riforma del sistema di incentivi ha determinato un rapido crollo delle immatricolazioni di EV. Questo suggerisce che la richiesta di veicoli elettrici sia attualmente subordinata a politiche di supporto.

Lo scenario più verosimile stima la diffusione in Italia di 3 milioni di veicoli elettrici al 2030, equamente suddivisi tra BEV e PHEV, cui è associabile un carico elettrico annuo di circa 5 TWh, pari all’1.5% della domanda totale prevista sul Mercato del Giorno Prima (MGP) al 2030 (325.6 TWh). La componente aggiuntiva di carico elettrico dovuto al livello di penetrazione stimato di auto elettriche rappresenta quindi una frazione minima della domanda prevista, pertanto non si rileva un impatto significativo né sul sistema di generazione, né sui prezzi dell’energia elettrica sul mercato all’ingrosso.

Di contro, il ruolo dell’auto elettrica risulta rilevante nella riduzione dei consumi di energia primaria.

Nella SEN 2017, di recente pubblicazione, vengono declinati gli obiettivi europei di efficienza energetica per settore, al 2030. A livello comunitario, la riduzione dei consumi dovrà attestarsi al 30%, rispetto ai valori del 2007. Inoltre, per quanto concerne l’*Effort*

² “E... muoviti! Mobilità elettrica a sistema”, RSE (2014).

³ Previsioni sulla mobilità elettrica in “E-Mobility Report: le opportunità e i modelli di business per lo sviluppo della mobilità elettrica in Italia” a cura di Energy & Strategy Group della School of Management del Politecnico di Milano (2017).

Sharing Decision, all'Italia è stato attribuito un *target* di riduzione delle emissioni da settori non-ETS (residenziale, servizi e la parte prevalente del settore trasporti) del 33%, rispetto ai livelli del 2005.

Tali direttive implicano, nel contesto nazionale, una riduzione di consumi di energia finale da politiche attive quantificabili in 9 Mtep/anno, pari a circa 0.9 Mtep/anno da nuovi interventi nel periodo 2021 - 2030.

Si consideri un caso studio che prevede il calcolo del risparmio di energia primaria correlato alla diffusione di vetture a trazione esclusivamente elettrica per il trasporto privato di passeggeri. Per semplicità, i calcoli sono stati condotti ipotizzando di confrontare due tipologie di vetture appartenenti al segmento B (utilitarie) e aventi il livello attuale di tecnologia, seguendo la procedura indicata nella scheda tecnica 42E pubblicata dal GSE in Gazzetta Ufficiale nel 2013. Si evidenzia un risparmio lordo di 0,37 tep/anno per autovettura convenzionale sostituita con un'omologa *full-electric*. In base all'ipotesi che individua in 1,500,000 auto *full electric* al 2030, il risparmio lordo potenziale di energia primaria si attesta a 0.56 Mtep/anno.

Noti i vantaggi della mobilità elettrica, in assenza di un approccio integrato che coinvolga autorità, *utility*, case automobilistiche e acquirenti, l'andamento dettato degli scenari descritti finora sarà arduo da conseguire.