



Via Po, 53 – 10124 Torino (Italy)
Tel. (+39) 011 6704917 - Fax (+39) 011 6703895
URL: <http://www.de.unito.it>

WORKING PAPER SERIES

OPEN INNOVATION AND SYSTEMIC RECONFIGURATION IN THE CAR INDUSTRY: THE CASE OF ELECTRIC VEHICLES

Aldo Enrietti e Pier Paolo Patrucco

Dipartimento di Economia "S. Cagnetti de Martiis"

LEI & BRICK - Laboratorio di economia dell'innovazione "Franco Momigliano"
Bureau of Research in Innovation, Complexity and Knowledge, Collegio Carlo Alberto

Working paper No. 08/2010



Università di Torino

OPEN INNOVATION AND SYSTEMIC RECONFIGURATION IN THE CAR INDUSTRY: THE CASE OF ELECTRIC VEHICLES

Aldo Enrietti^a e Pier Paolo Patrucco^{a,b}

a) Dipartimento di Economia "S. Cogneetti de Martiis"
Università di Torino

b) BRICK - Bureau of Research on Innovation, Complexity and Knowledge
Collegio Carlo Alberto, Moncalieri (TO)

aldo.enrietti@unito.it; pierpaolo.patrucco@unito.it

Paper prepared for the

EPI-MIP Automotive Conference

*ECONOMIA E POLITICA INDUSTRIALE: SFIDE ED OPPORTUNITÀ DELLA FILIERA
AUTOMOBILISTICA*

Milan, May 17 2010

Preliminary draft; please do not quote without authors' permission

Introduzione

Il tema dell'auto elettrica (EV) rappresenta una questione che si è ripresentata più volte nella storia del settore automobilistico e che però, a partire dal primo dopoguerra, è rimasta ai margini del *mainstream* a causa di alcuni limiti di fondo che rendeva meno competitiva tale motorizzazione rispetto ai veicoli con motore a combustione interna (ICEVs).

Ma negli ultimi anni alcuni macro fattori - i recenti innalzamenti nei prezzi del petrolio e la crescente importanza attribuita alla riduzione delle emissioni di diossido di carbonio nell'atmosfera (principali responsabili dell'effetto serra e del surriscaldamento globale) e specialmente innovazioni tecnologiche in settori complementari a quello automobilistico (in particolare avanzamenti sostanziali nelle tecnologia delle batterie) - hanno radicalmente cambiato il quadro, aprendo nuove opportunità di sviluppo per questa innovazione, (tanto che attualmente tutte le maggiori case automobilistiche stanno sviluppando e testando un'ampia gamma di tecnologie e applicazioni per veicoli alimentati ad energia elettrica).

Alle opportunità tecnologiche non necessariamente corrisponde però sicura realizzabilità economica a causa di una serie di fattori: la tecnologia delle batterie non è ancora stabilizzata, e si è quindi in presenza di alternative non risolte; il costo delle batterie stesse risulta ancora molto elevato, tale da determinare un elevato differenziale di costo delle auto elettriche rispetto a quelle tradizionali; la necessità di pesanti investimenti pubblici (incentivi ai consumatori, sostegno alla ricerca delle case auto, investimenti in infrastrutture). In dipendenza di ciò gli scenari prospettati risultano non convergenti. Senza dimenticare i miglioramenti realizzati e previsti sulle vetture tradizionali, a partire dalle innovazioni sui motori. Ulteriore elemento di incertezza è la definizione stessa di auto elettrica in quanto si è in presenza di un continuum di soluzioni che vanno dal semplice start and stop all'auto totalmente elettrica, passando per le vetture ibride.

Il presente contributo, partendo dall'analisi del contesto politico ed economico in cui si inserisce l'auto elettrica, intende argomentare che la diffusione dell'auto elettrica è determinata non solo o non tanto dalle specifiche scelte tecnologiche compiute dai produttori di auto e di batterie, ma soprattutto dalla capacità di organizzare e gestire l'azione integrata di una serie di attori, tradizionali e non (case auto, produttori di batterie, produttori di sistemi di gestione del veicolo, imprese che gestiscono il servizio di trasporto, la rete di distribuzione dell'energia, i produttori di energia, i governi) realizzando network, alleanze, coalizioni. In questo senso, l'auto elettrica appare come un'innovazione sistemica, il cui successo sembra dipendere dall'adozione di un nuovo business model, quello delle piattaforme per l'innovazione, centrato, per quanto riguarda i produttori di auto, sul servizio, e, per quanto riguarda gli individui su un nuovo comportamento di consumo (l'acquisto dell'auto disgiunto dalla proprietà delle batterie, oppure l'affitto dell'auto). Tale modello organizzativo per l'innovazione è coordinato da imprese-chiave che si fanno carico dell'integrazione delle competenze e delle tecnologie dei diversi attori, ed è esemplificato bene dall'esperienza di BetterPlace.

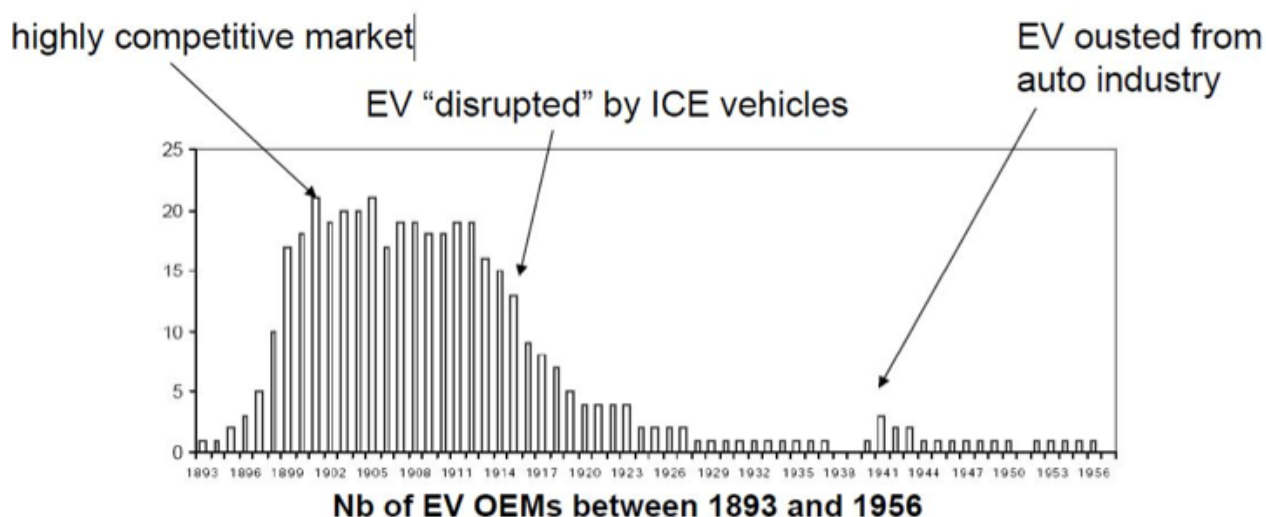
1. Una tecnologia 'eternamente emergente'

Come alcuni recenti studi hanno sottolineato (Beaume, Midler, 2009; Frery, 2000; Hoyer, 2007), la ricerca sui veicoli elettrici ed ibridi non è nuova al settore dei trasporti, ma

rappresenta una questione ricorrente che - sebbene oggi riceva rinnovata attenzione per il mutamento di alcuni macro fattori, come la crisi del prezzo del petrolio del 2008 - si è ripresentata più volte nella storia dello sviluppo del mercato automobilistico, tanto da rappresentare un perfetto esempio di *'technologie éternellement émergente'* (Frery, 2000). Non è dunque la storia di un'innovazione continua, ma di una tecnologia sviluppatasi secondo un andamento discontinuo, caratterizzato da accelerazioni e battute d'arresto.

L'esordio degli EVs fu in effetti piuttosto promettente: a fine XIX secolo (1880-1900) le auto elettriche erano in competizione con altri tipi di veicoli¹ (quelli a benzina, con motore a combustione interna, e quelli a vapore) per il dominio del mercato. È in questa fase che le grandi imprese manifatturiere sviluppano i primi veicoli elettrici (basti pensare che già alla World Exhibition di Chicago del 1893 furono presentati sei modelli di auto elettriche) ed ibridi (la prima *gasoline-electric car* fu presentata da Ferdinand Porsche all'esposizione di Parigi nel 1900). Fu un periodo straordinariamente prospero di sviluppi tecnologici in questo campo (figura 1), tanto da essere descritto come l'epoca 'd'oro' dei veicoli elettrici (Hoyer, 2007).

Figura 1



Fonte: Beaume, Midler (2009)

Ma, in quegli stessi anni, la Ford con il suo modello T (venduto a prezzi nettamente inferiori grazie alle importanti economie di scala derivanti dalla produzione di massa) aveva già cominciato a conquistare il mercato; in breve tempo furono i veicoli con motore a combustione interna ad imporsi come standard del settore automobilistico. Le vendite di EV diminuirono nettamente a partire dal 1913, fin quasi ad azzerarsi negli anni '20. Le imprese, fatta eccezione per una lieve ripresa della produzione di EVs tra il 1940 e il 1945 (i prolungati periodi di carenza di carburante legati alla Seconda Guerra Mondiale diedero

¹ La prima auto al mondo a raggiungere i 100 km/h fu l'auto elettrica "La jamais contente" nel 1899.

infatti un modesto slancio all'uso dei veicoli elettrici) tornarono per lo più a concentrarsi sugli ICEVs, che offrivano più ampi margini di profitto.

La ricerca sugli EVs venne così pressoché abbandonata almeno fino agli anni Settanta, quando l'emergere delle questioni ambientali (in particolare le preoccupazioni relative ai limiti nelle riserve di risorse naturali non rinnovabili) e - solo qualche anno dopo - la crisi petrolifera del '73 portano prepotentemente alla ribalta nel dibattito pubblico la 'questione energetica' costringendo i paesi industrializzati a cercare nuove fonti di energia pulita e rinnovabile. Tali eventi ridestano l'attenzione nei confronti delle tecnologie di mobilità elettrica, ma nonostante gli investimenti di alcune case automobilistiche e le previsioni ottimistiche di alcune istituzioni relativamente all'introduzione estensiva dei veicoli elettrici nella flotta (Frery, 2000), ancora una volta il tentativo di sviluppare un mercato su vasta scala per gli EVs si rivela un parziale fallimento.

Dalla fine degli anni Ottanta, e per tutto il decennio successivo, il tema dell'inquinamento atmosferico e la necessità di ridurre le emissioni di gas - e di CO₂ in particolare - riportano in auge il dibattito e la ricerca sulla mobilità elettrica. Le questioni relative allo sviluppo di energie alternative per il settore dei trasporti sono questa volta integrate all'interno di un più ampio dibattito sullo sviluppo sostenibile: il Protocollo di Kyoto - sottoscritto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi ed entrato in vigore nel 2005 - ne è la maggiore espressione. In questo periodo, i governi di alcuni paesi - come Francia e California² - cercano di ridare slancio agli EV creando provvedimenti legislativi di ampio respiro per incoraggiare la produzione e l'utilizzo di veicoli a 'zero emissioni', ma a causa dei bassi volumi di vendita e di un'intensa attività di *lobbying* da parte delle OEMs, alla fine degli anni '90 la ricerca relativa agli EVs viene ancora una volta progressivamente abbandonata.

Dalla metà degli anni Novanta, tuttavia - anche grazie agli sviluppi tecnologici prodotti a partire dagli anni Settanta - le tecnologie ibride godono di maggiore fortuna: nel 1997 la Toyota lancia sul mercato giapponese il primo modello di *Prius*, e nello stesso anno l'Audi è la prima OEM europea a proporre un ibrido, la *Duo*. Nel 1999 è invece la volta dell'Honda, la prima casa automobilistica a lanciare un ibrido sul vasto mercato statunitense: la sua due porte *Insight* è un immediato successo, tanto che solo pochi anni dopo, nel 2003, la stessa casa introduce il secondo *petrol-electric hybrid*, la Honda *Civic Hybrid*. La Toyota, dopo aver perfezionato la propria *Prius* (rivelatasi nel frattempo un discreto successo), dal 2000 inizia a commercializzarla negli USA (nel 2004 vincerà il premio di 'Auto dell'anno' del Motor Trend Magazine).

Ma si trattava di un successo limitato. La maggior parte dei produttori europei, infatti, in questa fase stava concentrando i propri investimenti in R&S in direzione di ulteriori sviluppi di moderni ed efficienti motori a diesel per ICEVs, che permettevano i più

² «In 1990, Californian state created a legislation that would have made it compulsory for car manufacturers to sell at least 2% of Zero Emission Vehicles by 1997 (this percentage would have increased to 15% in 2003). But, thanks to intense lobbying by OEMs, the mandate was gradually reduced, until it finally disappeared in 1998 [...]. In France, PSA and Renault introduced several EV models, which were adaptations of their ICE vehicles. As their commercial penetration proved to be low, they decided to abandon the EV at the very beginning of the 21st century» (Beaume, Midler., 2009).

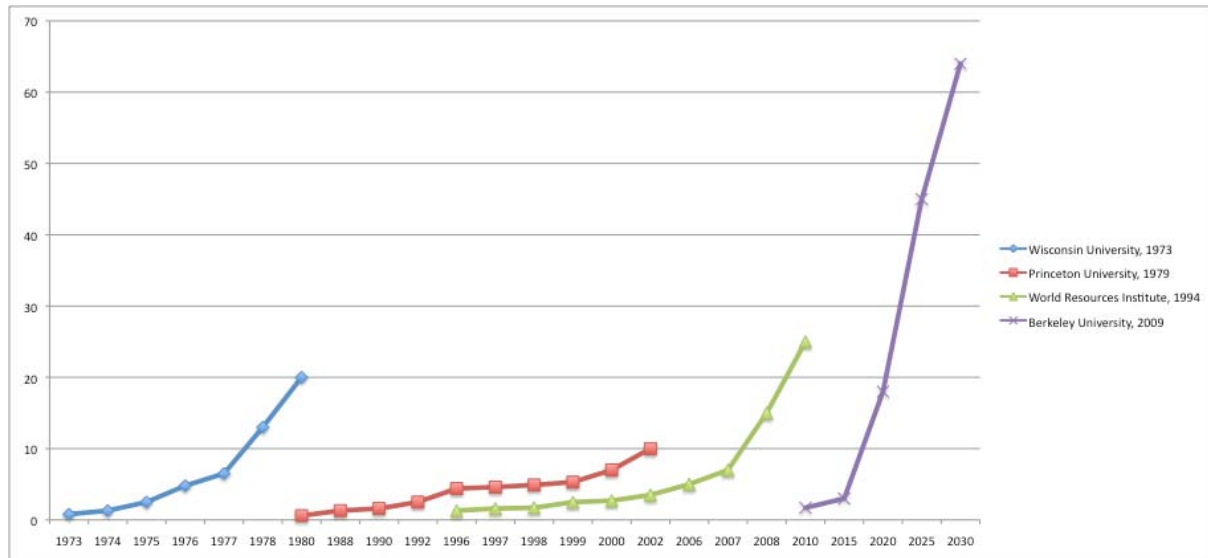
significativi risparmi di carburante rispetto ai motori a benzina. Se a ciò si aggiungono i volumi relativamente modesti di vendita degli EVs, appaiono chiare le ragioni per cui presto l'interesse e gli sforzi delle case automobilistiche sfumano, e il motivo per cui, nonostante l'intensa ricerca sugli HEV e EV degli anni '90, questo periodo è stato definito l'era 'dorata' (*gilded age*) delle auto elettriche (Hoyer, 2007) - in contrapposizione alla '*golden age*' di inizio XX secolo -, una sorta di falsa partenza. Ancora una volta la tecnologia degli EVs stenta a decollare, anche a causa di oggettivi limiti - come il costo e il peso delle batterie (relativamente alla quantità di energia da esse contenuta), la lunghezza del tempo di ricarica delle batterie stesse e il loro costo (decisamente superiore alle tecnologie ICE esistenti) - che rendevano meno appetibili e meno competitivi sul mercato i veicoli alimentati ad elettricità se paragonati ai più tradizionali ICEVs.

In conclusione, tra la metà degli anni Settanta e la metà degli anni Novanta gli EVs sono stati oggetto di successive ondate di entusiasmo nel settore automobilistico, tant'è che in più di un'occasione, durante la seconda metà del XX secolo, studi autorevoli hanno previsto lo sviluppo di un mercato su vasta scala per gli EVs come altamente probabile: ne sono una ottima rappresentazione le proiezioni messe a punto tra il 1973 e il 1993 da tre istituzioni statunitensi sulle potenzialità di mercato degli EVs negli Stati (figura 2), giungendo a previsioni piuttosto ottimistiche e abbastanza omogenee (Beaume&Midler, 2009), ma che non si sono realizzate. Infatti, secondo i dati dell'Energy Information Administration negli anni centrali di questo decennio le auto elettriche non hanno rappresentato che lo 0,015% delle vendite totali di auto (compresi i light truck), e le auto ibride poco più del 2, %.

A livello mondiale i dati odierni sono i seguenti: "Sales of hybrid-electric vehicles are expected to reach about 1.3 percent of an estimated 67 million light vehicle sales this year (2010), according to the market researcher J.D. Power and Associates. Full-electric cars will only amount to about 20,000 units, but by 2015 could reach a 0.3 percent market share. The International Energy Agency says full-electric cars and hybrids must reach at least 7 percent of global car sales by 2020 to hit targets to avoid more dangerous climate change" (Automotive News, April 6, 2010).

Anche oggi ci troviamo in una fase di grande ottimismo e notevole interesse per gli EVs. Grazie alla concomitanza di alcuni macro-fattori, e specialmente in seguito a radicali avanzamenti nella tecnologia delle batterie, sono ora disponibili sul mercato modelli avanzati che superano alcuni dei limiti tradizionali degli EVs. Tali fattori sembrano dare nuovo impulso alla ricerca in questa direzione, anche se - come si avrà modo di sottolineare - lo sviluppo su larga scala di un mercato per gli EVs richiede la realizzazione di numerose variabili e la mobilitazione di una molteplicità di soggetti eterogenei.

Figura 2:



Fonte: Beaume, Midler (2009), Centre for Entrepreneurship and Technology, Berkeley University (2010)

2. I recenti mutamenti nel quadro di riferimento

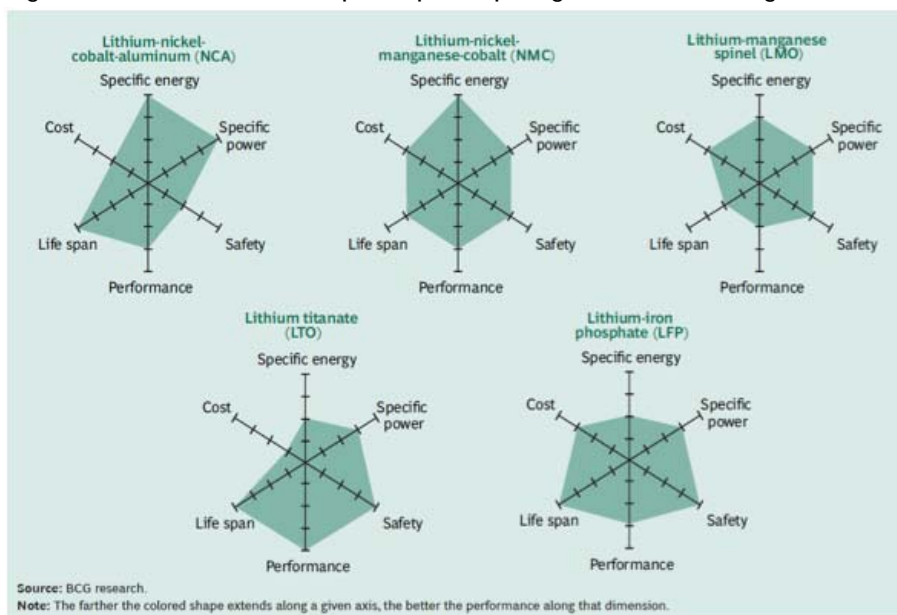
Il rilancio del dibattito, e delle esperienze, sui veicoli elettrici ha trovato nuova linfa, a partire dalla fine del secolo scorso a seguito di alcuni rilevanti cambiamenti intervenuti:

- 1) In primo luogo un crescente interesse pubblico per le questioni ambientali (si veda il tema del cambiamento climatico e delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra e del surriscaldamento globale) e il ruolo attribuito al settore dei trasporti nell'inquinamento, responsabile di circa un quarto delle emissioni di CO₂ prodotte attraverso la combustione. Gli stati hanno di conseguenza inasprito le normative volte alla riduzione delle emissioni (ad esempio norme CAFE negli USA ed Euro 5 e 6 in Europa).
- 2) Un altro fattore è la crescente instabilità del prezzo del petrolio (con il picco raggiunto a metà 2008 di 150\$ al barile) e il conseguente riemergere della tematica dell'indipendenza energetica e della rinnovata attenzione a fonti di energia alternative (solare, eolica..).
- 3) a questi fattori di carattere "ambientale" si è venuto aggiungendo un fattore tecnologico determinante nel favorire una più accelerata transizione verso i EVs ovvero gli avanzamenti nelle tecnologia delle batterie (in particolare lo sviluppo della tecnologia. Esiste un diffuso consenso sul fatto che questo sia l'avanzamento tecnico cruciale per creare i presupposti per una crescente elettrificazione del settore dei trasporti (Deutsche Bank, 2008; BCG, 2010; Barkenbus, 2009).

Se questi tre fattori vanno nella direzione di un prevedibile aumento della diffusione degli EV occorre però anche tenere conto di altri elementi che aumentano l'incertezza:

- Innanzitutto l'incertezza tecnologica relativa a due dimensioni:
 - una riguarda la stessa **tecnologia delle batterie**: se è vero che quella degli ioni al litio è indicata come vincente nel lungo periodo³ siamo però di fronte ad almeno cinque differenti alternative all'interno di questa stessa tecnologia e nessuna, al momento e nel breve periodo, appare come dominante (figura 3) nel complesso delle sei dimensioni che caratterizzano le batterie (sicurezza, durata - come numero di cicli di carica e ricarica -, performance, energia immagazzinata, potenza specifica e costi) (BCG 2010). I produttori di batterie, i fornitori di primo livello e le case auto sono alla ricerca del miglior compromesso tra le sei dimensioni e che per primo avrà successo si garantirà un significativo vantaggio sui competitori⁴. Peraltro, senza un rilevante salto tecnologico nelle batterie è improbabile che i full electric vehicles potranno essere disponibili per un mercato di massa per il 2020 (BCG 2010, pag. 5). A ciò si aggiunge che "Within the technical community there is still considerable doubt as to whether the new batteries will match performance expectations over the entire life of the vehicle" (Barkenbus 2009, pag. 404). La soluzione del problema delle batterie è importante non solo dal punto di vista tecnologico ma anche economico, tenendo conto che almeno un terzo del costo di una vettura elettrica è dato dal costo delle batterie

Figura 3: Trade-off tra le principali tipologie di batterie agli ioni di litio



Fonte: BCG 2010

³ Most electric cars in the new decade will use lithium-ion batteries, which are lighter and more powerful than the nickel-metal hydride (NiMH) batteries used today in hybrids like the Toyota Prius (BCG, 2010)

⁴ Se attualmente non si conosce quale sia la miglior tecnologia, i fondi investiti dal Governo USA hanno al caratteristica di "seeding the garden with ideas and opportunities, but then, within a few years, we'll see which ones sprout, which ones survive, and those will be the more promising ones for our future." (New York Times, august 6, 2009).

- La seconda incertezza è relativa all'ampio ventaglio di alternative tecnologiche volte a ridurre le emissioni ed il consumo di carburante (figura 4) e di cui i veicoli elettrici sono solo una delle possibilità, senza dimenticare i margini ancora ampi di miglioramento delle tecnologie applicate alla combustione interna. In sintesi siamo di fronte a tre differenti opzioni:
 - carburanti alternativi (GPL, metano⁵, biocarburanti di seconda generazione, idrogeno), particolarmente efficaci nel ridurre i livelli di CO₂
 - tecnologie avanzate nei motori a combustione interna, che si presentano come il modo più efficace per ridurre le emissioni di CO₂. Esse comprendono: riduzione cilindrata dei motori, iniezione diretta, turbo compressione, controllo variabile delle valvole, diesel puliti. BCG (2009, pag. 2) stima che i motori a benzina possano incrementare la loro efficienza energetica ancora di un 20% e quelli a benzina di un 15% e quindi essere una reale alternativa a certe tipologie di auto elettriche, in particolare le ibride.

Figura 4: Alternative tecnologiche per ridurre inquinamento e consumi



HCCI = Homogeneous charge compression ignition

Fonte: PWCAUTOMOTIVEINSTITUTE, Analyst Note, 19/10/2009

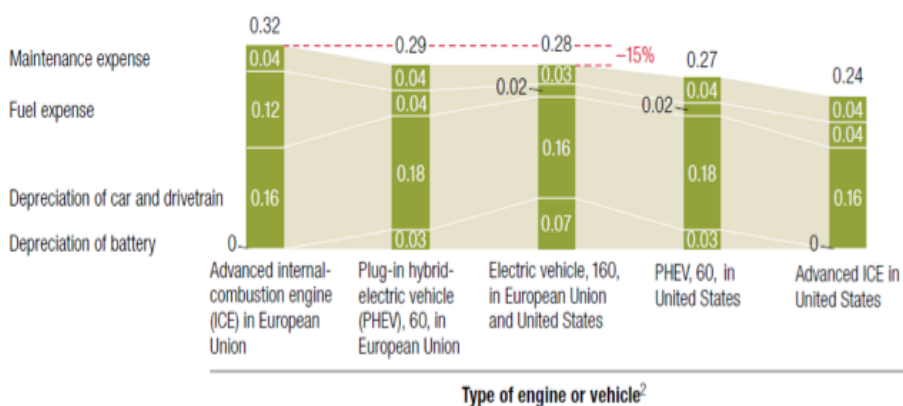
⁵ Sul tema si veda Stocchetti e Volpato 2010.

Accettando le previsioni di McKinsey (2009) per il periodo 2012-2015 (figura 5) appare significativo che, negli USA, il costo di gestione di un'auto con motore a combustione interna con tecnologia avanzata sarebbe inferiore a quello di una ibrida in grado di percorrere 60km con le sole batterie.

Figura 5: Costo chilometrico per differenti tipologie di auto

Electric avenue

Total cost per km of operation, 2012-15 projection¹



Fonte:

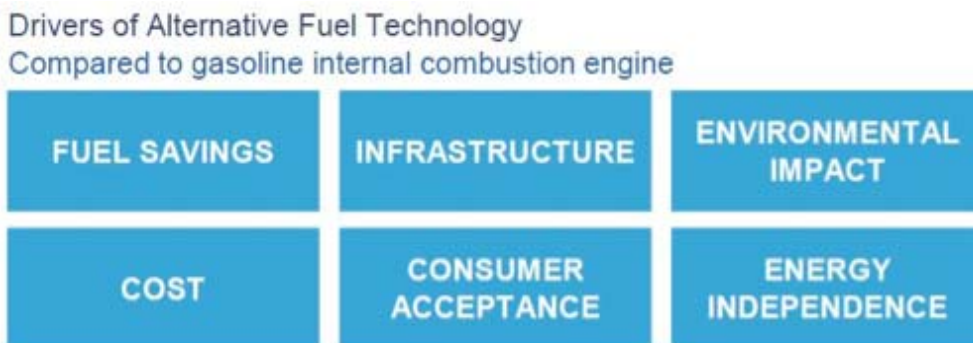
¹Assumes fuel cost of \$2.00 per gallon (United States), \$1.6 9per liter (European Union); battery pack cost of \$500 per kilowatt hour (kWh); total cost of ownership calculated for first 5 years of ownership; 20,000 km per year annual distance driven; standard vehicle (eg, Volkswagen Golf) with cost of \$20,000 before engine, drivetrain, battery, etc.; advanced ICE vehicle is 30% more efficient than 2008 Volkswagen Golf.

²60 and 160 refer to number of kilometers vehicle can drive on fully charged battery.

McKinsey (2009)

Rimane però il fatto che la decisione tra vetture tradizionali, seppur avanzate tecnologicamente, e auto elettriche passa dalla combinazione di sei elementi (figura 6).

Figura 6:



Fonte: PWCAUTOMOTIVEINSTITUTE, Analyst Note, 19/10/2009

- La terza incertezza riguarda gli scenari relativi al **prezzo del petrolio**, uno degli elementi decisivi nella diffusione dei veicoli elettrici, insieme alla tecnologia delle batterie. BCG (2009, pag. 5) ritiene che le vetture ibride siano competitive con i motori diesel avanzati, come costo totale (acquisto più gestione), quando il prezzo del petrolio sia intorno ai 170\$ a barile e che le vetture interamente elettriche lo diventino, rispetto alle vetture tradizionali e a quelle ibride, quando il prezzo del petrolio sia intorno ai 280\$ a barile. Perché queste ultime possano essere competitive ad un prezzo di 100-120\$ a barile sarebbe necessario un forte abbassamento del costo delle batterie.
- Peraltro, il prezzo del petrolio risulta a sua volta influenzato dalla **dinamica stessa della domanda automobilistica mondiale**. Secondo le stime di PWCAutofacts (Analyst Note Plus, Aprile 2010) nel 2009 si sarebbero prodotte nel mondo oltre 57 milioni di Light Vehicles che dovrebbero aumentare a oltre 85 milioni nel 2014, con un incremento del 49%. Se anche si immaginasse che i veicoli elettrici possano coprire una quota del 20% si tratterebbe pur sempre nel 2014 di 70 milioni di veicoli tradizionali rispetto ai 57 del 2009: quale l'impatto sul prezzo del petrolio e quindi sulla domanda di veicoli elettrici? Inoltre la distribuzione territoriale della produzione va a cambiare significativamente: secondo Xianjuin Li (2010) nel 2009 la Cina aveva prodotto 13.790.000 veicoli leggeri ma si preveda che ne produca 19 milioni nel 2015 e ben 28 milioni nel 2020,

3. I veicoli elettrici: una tipologia

Trattando di veicoli elettrici, in realtà si parla di una varietà piuttosto ampia di vetture in quanto si è di fronte più che a un prodotto a un '*electrification path*' (BCG, 2009). Ad un estremo si hanno i veicoli che permettono risparmi limitati in termini di emissioni e un minore impiego dell'energia elettrica, all'altro estremo si hanno quelli che consentono significativi incrementi di efficienza da spiegare (in misura crescente quanto maggiore è la proporzione di utilizzo del motore elettrico rispetto a quello a combustione interna) e presentano livelli di emissioni inferiori (pari a zero nel caso dei BEVs). Peraltro, lungo il continuum individuato i veicoli presentano costi via via più elevati, giacché quanto maggiore è l'uso di elettricità, tanto maggiore è la potenza richiesta alla batteria, e conseguentemente il suo costo.

Una possibile classificazione è pertanto la seguente:

1. Gli **hybrid-electric vehicles (HEVs)** combinano un motore a combustione interna (a scoppio o diesel) con un motore elettrico supplementare. Il primo è generalmente il sistema principale e lavora alle velocità più elevate, mentre il motore elettrico è usato per alimentare il veicolo in città o sulle brevi distanze o per supportare il motore principale nelle accelerazioni repentine. Le batterie sono ricaricate da generatori che funzionano grazie al movimento del motore a combustione e tutto il sistema è gestito da un computer a bordo. Questa categoria di veicoli include i *micro hybrids*, i *mild hybrids*, e i *full hybrids* (Deutsche Bank, 2008; BCG, 2010).

I primi integrano il motore a combustione interna con la funzione definita *Start/Stop*: il motore si spegne quando l'auto arresta la propria marcia e si rimette in moto, premendo l'acceleratore, nel momento in cui è richiesto il movimento del veicolo, con un guadagno di efficienza del 5-10%. Secondo il ciclo NEDC (New European Driving Cycle - utilizzato da molti produttori per il calcolo di consumi di carburante) tale sistema consentirebbe una minima riduzione delle emissioni di CO₂ (4-5%) rispetto a quanto lo stesso veicolo otterrebbe senza funzione Start/Stop.

I *mild hybrids* (come il primo modello della Toyota *Prius*) sono dotati di una batteria più potente rispetto al micro-ibrido, che spegne il motore quando gira al minimo e fornisce energia aggiuntiva durante l'accelerazione, con un risparmio di carburante compreso tra il 10 e il 20% rispetto ad un ICEV tradizionale. Grazie ad un generatore sistemato vicino all'asse posteriore, questi veicoli sfruttano la frenata per ottenere energia, che viene poi utilizzata in accelerazione (sistema di *regenerative braking*). La riduzione di emissioni di CO₂ in questo caso è pari al 10-15% sulla base dei rilevamenti del ciclo NEDC.

I *full hybrids* (come la Ford *Fusion* 2010) forniscono energia sufficiente per livelli limitati di guida autonoma a basse velocità, con guadagni di efficienza nell'ordine dei 25-40 punti percentuali. Questa variante di ibrido consentirebbe una riduzione delle emissioni di circa il 25-30%.

2. I *plug-in hybrid electric vehicles* (PHEVs) e i *range-extended hybrid vehicles* (rispettivamente come la nuova Toyota *Prius* e la *Chevrolet Volt* della General Motors) funzionano in modo inverso rispetto agli HEVs: combinano il motore elettrico con un motore a combustione interna che entra in funzione quando la batteria si scarica (*'un'auto elettrica che usa la benzina per estendere la propria autonomia'*, Nature, 2008). La batteria è in grado immagazzinare elettricità sufficiente per permettere al veicolo di percorrere le prime 20-40 miglia solo grazie al motore elettrico, e si ricarica o collegando l'auto ad una fonte di energia elettrica esterna o mediante un dispositivo collocato a bordo (come un piccolo motore a combustione interna) che entra in funzione per caricare la batteria, mentre il veicolo continua ad essere condotto dal motore elettrico. Oltre il limite delle 40 miglia funzionano come *full hybrids*, con l'energia fornita dal motore a combustione interna. Poiché la maggior parte dei consumatori (circa l'80%) guida per meno di 50 miglia (80 km circa) al giorno, una parte significativa dell'energia consumata da tali veicoli proverrebbe dal motore elettrico. Ci si aspetta che i PHEVs vengano studiati e progettati per poter operare per il 50% del tempo alimentati solo dall'energia elettrica. Il guadagno in termini di efficienza sarebbe in questo caso nell'ordine del 40-65%. Con questa soluzione è possibile ottenere una riduzione delle emissioni di CO₂ compresa tra il 55 e il 70% (in base al tipo di veicolo e di batteria). Specificare la distinzione
3. I *fully EVs* o *battery electric vehicles* (BEVs, come la Mitsubishi *i-MiEV* e la Nissan *Leaf*, di prossima uscita) non possiedono a bordo dispositivi di generazione di energia elettrica, la batteria può dunque essere ricaricata solo collegando il veicolo ad una presa (dunque alla rete elettrica) o cambiando la batteria scarica con una carica. Il totale della loro energia deriva da un motore elettrico che non produce alcun tipo di gas di scarico, pertanto in questo caso la riduzione delle emissioni di CO₂ è del 100%.

La tabella 2 illustra in sintesi quanto indicato nei punti precedenti.

Tabella 2: Tipologia di auto elettriche

	Micro hybrid	Mild hybrid	Full hybrid	Plug-in hybrid	Battery/fully electric vehicle
Tecnologia	ICEV con funzione <i>start-stop</i>	ICEV con funzione <i>start-stop regenerative braking</i>	ICEV dotato di un motore elettrico che funziona alle basse velocità	Veicolo elettrico con ICE supplementare che aziona il motore elettrico quando la batteria si scarica; possibilità di collegamento alla rete elettrica	Veicoli dotati solo di motore elettrico; possibilità di collegamento alla rete elettrica e/o di sostituzione delle batterie scariche
Incremento efficienza	5-10%	10-20%	25-40%	40-65%	100%
Riduzione emissioni	4-55	10-15%	25-30%	55-70%	100%
Costo batteria	100\$	600\$	1.200\$	6.000\$	11.000\$
Costo addizionale (su ICEVs)	600\$	1.600\$	2.200\$	8.000\$	11.000\$

Fonte: elaborazione su dati Deutsche Bank (2008) e Boston Consulting Group (2009).

Il quadro sopra prospettato evidenzia due punti di rilievo:

- Rispetto alle vetture elettriche degli anni precedenti, prevalentemente elettrificazione di vetture tradizionali, dalla fine del secolo scorso in poi si tratta di modelli progettati ad hoc;
- La gamma di veicoli definibili come elettrici risulta piuttosto ampia, per cui ogni valutazione o previsione di mercato richiede che si specifichi a quale tipo di veicolo si fa riferimento.

4. Prospettive di medio-lungo periodo per un mercato degli EV

Abbiamo visto con la figura 2 come gli scenari disegnati tra gli anni '70 e gli anni '90 si siano dimostrati assolutamente ottimistici e non corrispondenti alla reale dinamica del mercato nei decenni successivi.

Con il rinnovato interesse al tema dell'auto elettrica si sono pertanto riproposte nuove stime sulla dimensione del possibile mercato di queste vetture al 2020 o 2030.

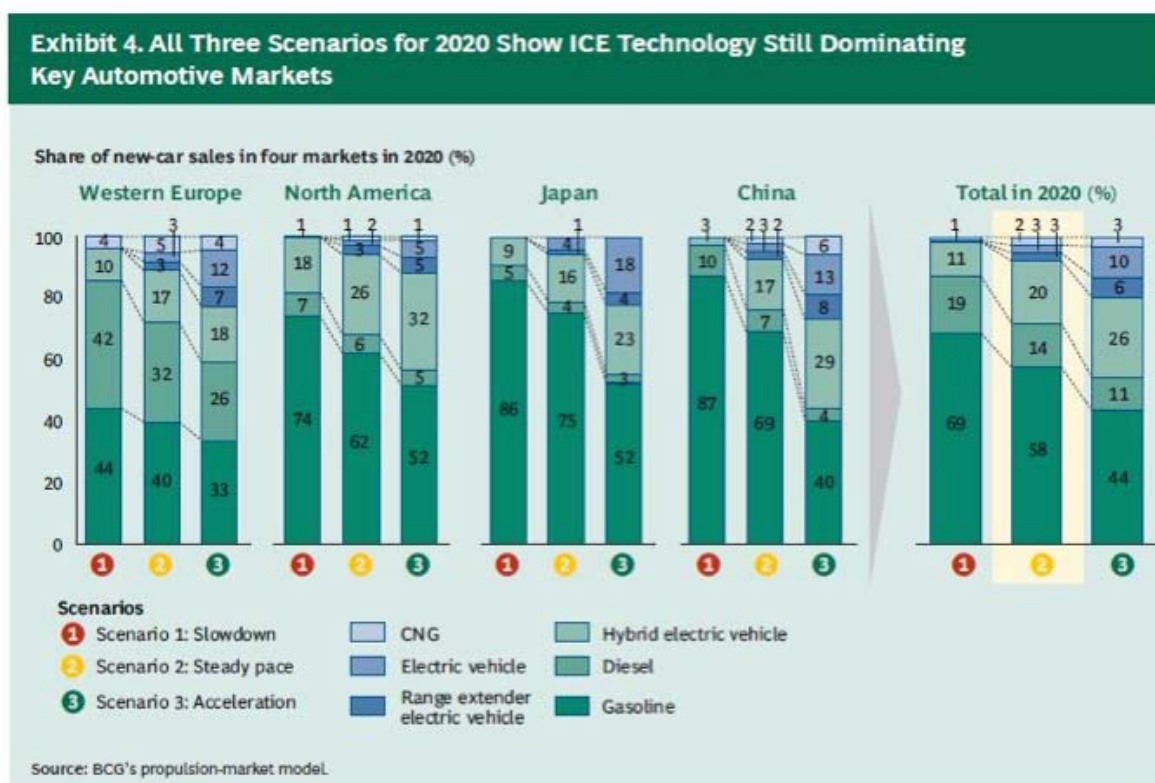
1. Secondo il **Boston Consulting Group (BCG) (2009)** le tecnologie di propulsione alternative modificheranno profondamente il settore automobilistico nel 2020. Lo studio analizza il potenziale sviluppo di mercato dei veicoli elettrici, ibridi e ICE nei 4 maggiori mercati automobilistici (Europa occidentale, Nord America, Giappone e Cina) dal 2008 al 2020, sulla base di tre scenari che si differenziano per diversi gradi di interesse pubblico sulle questioni ambientali e di prezzi del petrolio.

Scenario 1 - rallentamento: il prezzo del petrolio scende sotto i 60\$ al barile (che è il prezzo all'epoca della pubblicazione dello studio, lontano quindi dal picco di 150\$ al barile di metà 2008); l'interesse pubblico per le questioni ambientali è diminuito e non c'è più tanta pressione sul settore dei trasporti come una delle cause principali del surriscaldamento globale.

Scenario 2 - andamento costante (*steady pace*): le preoccupazioni per il cambiamento climatico si intensificano, le persone sono più attente alle emissioni di CO₂ delle proprie auto e i governi rafforzano le leggi esistenti in materia di riduzione delle emissioni e istituiscono incentivi fiscali per gli acquirenti di auto 'verdi'; il prezzo del petrolio è intorno ai 150\$ al barile.

Scenario 3 - accelerazione: tutti gli *stakeholders* sentono l'urgenza di ridurre le emissioni di CO₂. I governi inaspriscono ulteriormente la legislazione vigente in materia di emissioni e istituiscono ulteriori incentivi per chi acquista veicoli con tecnologie di propulsione alternative. Il prezzo del petrolio sale a circa 300 \$ al barile, il che crea forti incentivi a passare a veicoli *fuel-efficient*. Il BCG stima che le automobili dotate di tecnologie alternative di propulsione (inclusi HEVs, range extenders e EVs) otterranno nel complesso una penetrazione di mercato compresa tra il 12% (*slowdown* scenario) e il 45% (*acceleration* scenario) (figura 7).

Figura 7: Scenari alternativi al 2020



La più probabile secondo le stime del BCG è però la realizzazione dello *steady pace* scenario, che prevede una crescita costante delle tecnologie alternative che le porterebbe ad ottenere un *market share* complessivo del 28%. Contate in unità, circa 1.5 milioni di *fully EVs* e altrettanti *range extended EVs* saranno venduti nel 2020 nelle 4 macro-regioni considerate (rispecchiando rispettivamente il 2,7% del mercato automobilistico totale in queste regioni), mentre gli ibridi raggiungeranno una penetrazione del 20% (circa 11 milioni di veicoli), il più ampio *market share* tra tutte le tecnologie alternative proposte. Aggiungendo a queste tipologie i *CNG fuel vehicles* (veicoli alimentati a 'compressed natural gas' ovvero a *GPL -Gas Propano Liquido*) tutte le tecnologie di propulsione alternative raggiungerebbero nel complesso una penetrazione dei maggiori mercati dell'auto del 28% (14 milioni di veicoli elettrici e ibridi venduti nel 2020).

A livello di segmenti di mercato, quello delle *city car* vedrà la più ampia proporzione di veicoli interamente elettrici (*fully EVs*), il circa 18% del totale, mentre il segmento delle *small car* conterrà il maggiore spettro di tecnologie alternative disponibili, con una significativa penetrazione degli ibridi (20%) accanto ai *range extended EV* (7%).

Il mercato dell'Europa Occidentale sarà il più appetibile per i *fully EVs*, con circa 600.000 unità, un terzo del totale delle vendite di auto interamente elettriche, mentre quello statunitense sarà il più esteso per gli HEVs, comprendendo 5,4 milioni di unità su 11 milioni totali di veicoli venduti nel 2020.

Nonostante la crescente pressione dei governi sul settore automobilistico volta ad incoraggiare la produzione di auto con minori emissioni di diossido di carbonio, quindi, il motore CI rimarrà la tecnologia dominante nel 2020 in tutte le 4 macro-regioni considerate

e in tutti gli scenari modellati. Tenendo in considerazione solo le variabili di prezzo del petrolio e di attenzione per le questioni ambientali, e lasciando invariate le altre condizioni, il mercato mondiale dei trasporti continuerà dunque ad essere dominato da veicoli a benzina (con un market share del 58% nel 2020) e dai diesel (14%). Il report conclude che in assenza di un'estesa infrastruttura di ricarica o di ricambio delle batterie l'adozione di *fully EV* nel 2020 potrebbe essere limitata a specifiche applicazioni, come flotte commerciali o di servizi cittadini (quindi auto il cui uso è limitato entro specifici ambiti di utilizzo) (BCG, 2010).

2. Secondo **Deutsche Bank** (2008), i veicoli elettrici (HEVs, PHEVs e fully EV) sono destinati nei prossimi 10 anni ad una crescita molto maggiore di quanto sia attualmente percepito. Le stime basate anche sulle analisi del mercato delle batterie al litio per il settore automobilistico, prevedono che i veicoli elettrici ed ibridi nel 2015 potranno rappresentare il 20% dei nuovi veicoli venduti negli USA e il 50% delle vendite nell'Europa occidentale (p. 27). Nel 2020 il tasso di penetrazione potrebbe raggiungere il 49% negli USA e il 65% in Europa. I tassi di penetrazione di mercati di altri paesi, meno estesi, saranno con alto grado di probabilità significativamente inferiori.

Per quanto riguarda la segmentazione del mercato, gli HEVs rappresenteranno un segmento molto più ampio del mercato rispetto a EVs e PHEVs. Tale conclusione deriva da un'analisi costi-benefici che suggerisce che gli HEVs forniscono il maggior vantaggio ai consumatori. Comparando i tempi di *payback* di HEVs, PHEVs e EVs, infatti, gli attuali HEVs hanno un tempo di *payback* di approssimativamente 5 anni con batterie NiMH, che si ridurrebbe a circa 3 anni con il passaggio a Li-Ion *batteries*, che com'è noto permettono una significativa riduzione dei costi. L'attuale *payback* di PHEVs e EVs, rispettivamente calcolato intorno a 7,4 e 8,1 anni, resta troppo alto.

3. Il report del **National Research Council** (2010) si concentra solo sulle vetture PHEV considerando due varianti di ibridi: i PHEVs-10, che usano una tecnologia ibrida simile a quella utilizzata per la Toyota *Prius*, che consente al veicolo di percorrere le prime 10 miglia solo grazie all'energia elettrica, e un motore a benzina che subentra quando la richiesta di energia è superiore o le batterie sono scariche; i PHEVs-40 (come la Chevrolet *Volt*) con un *electric range* di 40 miglia e una batteria decisamente più grande rispetto ai PHEVs-10. In questi ultimi, il motore elettrico fornisce tutta l'energia necessaria al veicolo, mentre quello a benzina alimenta un generatore che mantiene le batterie al di sopra di un livello minimo di carica.

Lo studio analizza i potenziali tassi di penetrazione degli EVs per il mercato statunitense, ipotizzando due scenari: l'uno, più ottimistico, secondo il quale nel 2030 i PHEVs potrebbero rappresentare circa 40 milioni di unità su una flotta complessiva di 300 milioni di veicoli, ovvero il 13%. Tale scenario dipende però strettamente dalla realizzazione di alcuni fattori (come rapido progresso tecnologico, elevato supporto governativo, e accettazione da parte dei consumatori). Tuttavia, sottolineano gli analisti, l'attuale costo delle batterie, i risparmi di carburante ancora modesti e la limitata disponibilità di punti pubblici per la ricarica, oltre che una parziale resistenza da parte dei consumatori, fanno sì che ad una valutazione più realistica sia più probabile la realizzazione di uno scenario che prevede (assumendo che il livello di incentivi governativi si mantenga nel tempo

almeno pari a quello attuale) una penetrazione dei PHEVs nel 2030 pari a circa 13 milioni di veicoli (su 300 totali), cioè il 4,3%.

Se però si considera il tempo necessario per realizzare il break-even ("the year when the fuel savings of the entire fleet of PHEV equals the subsidies required that year to make PHEVs cost-competitive", pag. 5) le previsioni si spostano avanti negli anni, a metà degli anni '30 per l'opzione che prevede un mix tra le due tipologie di vetture, con in più un consistente scarto tra lo stock di PHEVs previsto per il 2030 e quello necessario per consentire il break-even (nello scenario probabile, 13 milioni contro 20)

Tabella 3

TABLE S.2 PHEV Transition Times and Costs

Penetration Rate	PHEV-40 Maximum		PHEV-10 Maximum		30/70% PHEV40/10 Mix Maximum	
	Practical	Probable	Practical	Probable	Practical	Probable
Technical Progress	Optimistic	Probable	Optimistic	Probable	Optimistic	Probable
Break-even year, annual cash flow = 0	2040	2047	2028	2028	2032	2034
Cumulative subsidy to break-even year	\$408 billion	\$303 billion	\$33 billion	\$15 billion	\$94 billion	\$47 billion
Number of PHEV cars at break-even year (millions)	132	89	24	8	48	20

Note: Does not include infrastructure costs for home rewiring, distribution system upgrades, and public charging stations which might average over \$1000 per vehicle.

4. Il Center for Entrepreneurship and Technology dell'Università di Berkeley (2009), si pone in un'ottica originale rispetto agli studi precedenti in quanto prende in considerazione solo le auto elettriche con batterie sostituibili associate però ad un contratto '*pay-per-mile*' con cui l'acquirente dell'auto elettrica affitta solo le batterie, abbattendo così i costi addizionali iniziali (*additional upfront costs*) tradizionalmente associati agli EVs a causa dell'elevato costo delle batterie stesse.

Lo studio, che si concentra sul mercato statunitense prospettando 3 scenari (figura 3), prevede che EVs con questo tipo di *pricing* possano arrivare a rappresentare nel 2030 ben il 64% delle vendite di '*light vehicles*' e il 24% della flotta totale degli USA (nel *baseline oil-price* scenario, che prevede una graduale crescita del prezzo della benzina ed esclude tutti i veicoli che effettuano almeno una volta al mese spostamenti di oltre 80 miglia ed i veicoli, come i SUV, le cui funzionalità non possono essere espletate dagli EVs). Tale livello di adozione è reso possibile dal prezzo di acquisto significativamente inferiore e da minori costi di '*per-mile driving*' che questo tipo di auto elettriche (con batterie sostituibili) offrono rispetto ai veicoli a benzina (figure 7 e 8)

Le analisi sopra presentate, se pur non sono concordi sulla dinamica e sui tempi, evidenziano però tutte alcuni vincoli economici di cruciale importanza: il costo delle batterie, il costo delle infrastrutture, gli investimenti in R&S, la domanda e l'offerta di energia.

Figura 7:

Three Scenarios for the U.S. Market Share of Electric Vehicles

The market share forecasts are based on the Bass (1969) model of new technology adoption. The Baseline and High Oil Price Scenarios are from the EIA 2009 Annual Energy Outlook. The operator subsidized scenario uses the EIA high oil price scenario, but adds the possibility that network operators could use a portion of their gross margin to subsidize the purchase of electric cars in exchange for customers signing long-term per-mile contracts. The maximum market size is 64% in the baseline scenario, 85% in the high price scenario, and 86% in the operator -subsidized scenario.

EV Percentage of U.S. Light-Vehicle Sales

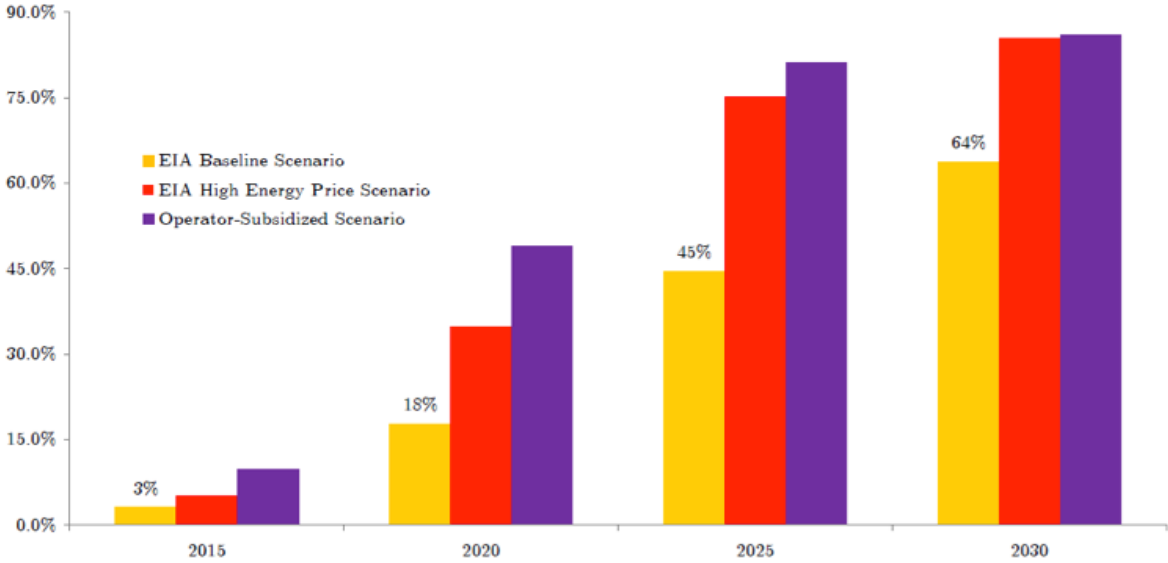
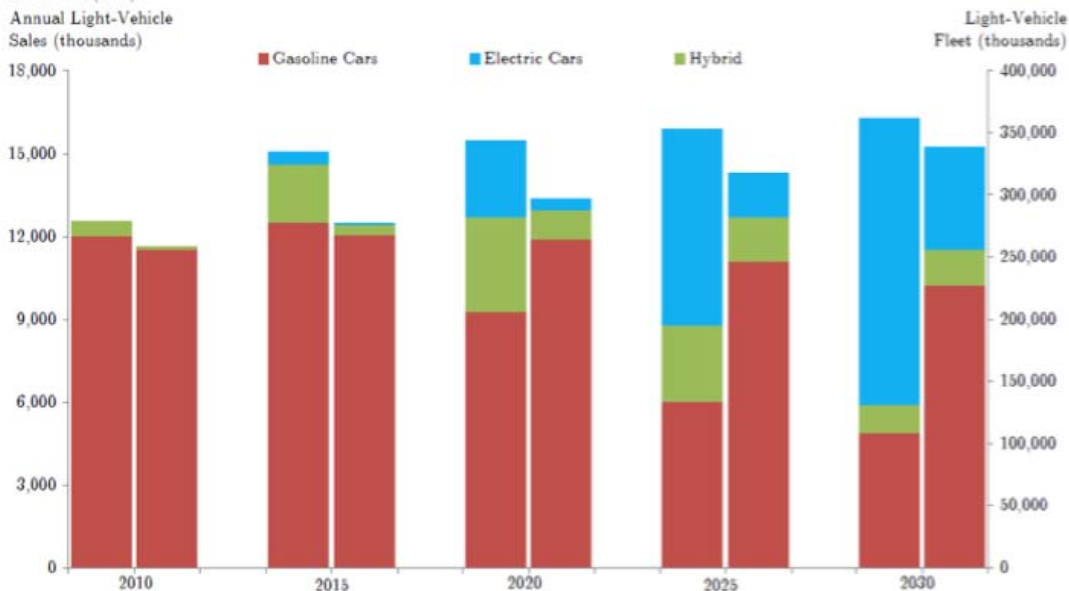


Figura 8:

U.S. Light-Vehicle Sales and Fleet Composition Under Baseline Scenario

The left columns and axis represent forecasts for the composition of U.S. light-vehicle sales under the baseline oil price scenario from the EIA. The right columns and axis represent the corresponding mix of vehicles in the U.S. light-vehicle fleet. Total U.S. light-vehicle sales estimates from 2010 to 2020 are from R.L. Polk, thereafter estimates are based on historical averages of new car sales and scrappage rates. Forecasts for electric car sales are based on the Bass new technology diffusion methodology. The estimates for the overall alternative powertrain market use estimates from the McKinsey (2009) industry report. Estimates for hybrid sales are based on industry reports by McKinsey (2009), Deutsche Bank (2008), Credit Suisse (2008), and J.D. Power (2008).



5. I vincoli economici allo sviluppo dell'auto elettrica

- Il primo vincolo, come richiamato sopra, è relativo al **costo delle batterie**, problema cruciale tenendo conto che esso costituisce buona parte del differenziale di costo delle auto elettriche sulle vetture tradizionali (BCG, 2010), andando così ad influenzarne in larga parte il prezzo finale e rappresentando una componente determinante per un'adozione di tali veicoli. Secondo una stima del BCG (2010) l'attuale costo di un pacco batterie agli ioni di litio di tipo NCA (Nickel, Cobalto, Alluminio) per un costruttore auto oscilla tra 1000 e 1.200\$ per kWh; considerando che per un'auto media siano necessarie batterie in grado di fornire 15kWh di potenza, il loro costo è intorno ai 16.000\$. Lo *United States Advanced Battery Consortium* ha stabilito un cost target di 250\$ per kWh, raggiungibile attraverso lo sfruttamento delle economie di scala ma non realizzabile entro il 2020, stante le attuali tecnologie, ovvero senza "a major breakthrough in battery chemistry" (BCG, 2010, pag. 7)⁶. Ma il costo delle batterie non riguarda solo gli OEMs in quanto parte del costo totale dell'auto elettrica, esso investe anche in misura

⁶ Secondo McKinsey 2009 (pag. 88), il costo "could drop to as little as \$420 per kilowatt hour by 2015 under an aggressive cost reduction scenario", ma rimarrebbe ugualmente levato il differenziale di costo rispetto alle auto tradizionali: "Even then, the upfront purchase price of electrified cars would be quite high. We estimate that by 2015, a plug-in hybrid-electric vehicle with a battery range of 40 miles (before the need for a recharge) would initially cost \$11,800 more than a standard car with a gas-fueled internal combustion engine. A battery-powered electrified vehicle with a range of 100 miles would initially cost \$24,100 more"

importante l'acquirente di questa tipologia di vetture in quanto l'elevato differenziale di costo dipende, per l'appunto, dal costo delle batterie.

Questo vincolo spinge verso un nuovo tipo di possesso della vettura e verso anche un nuovo modello di business per le imprese: non si tratterebbe più di acquistare la vettura nel suo insieme, ma di acquistare solo ciò che non è batteria, in quanto questa verrebbe invece affittata e pagata per il consumo effettivo, ovvero il sistema 'pay-per-mile'. In questo caso al consumatore e all'impresa produttrice di auto si viene ad aggiungere un nuovo soggetto, l'impresa che gestisce la ricarica e la sostituzione delle batterie. L'adozione di questo business model radicalmente nuovo viene definito come una *disruptive strategy* (Barkenbus, 2009) che può più facilmente essere proposta da nuovi entranti piuttosto che incumbent, come le case auto: essa sarebbe in grado di modificare/alterare le preferenze dei consumatori presentando un 'value set' nuovo e accattivante (ad esempio prezzo basso, comodità e semplicità di uso). Nella realtà si tratta del modello proposto da Better Place e adottato da Renault per gli esperimenti pilota in Israele e Danimarca⁷. Con tale modello si separa l'acquisto del veicolo da quello della batteria. Trasferendo il possesso della batteria ad un *electric car network operator* (come Better Place), le preoccupazioni del consumatore relative al costo e alla durata della batteria potrebbero essere eliminate. Secondo il Center for Entrepreneurship and Technology (2009), le auto elettriche svincolate dal possesso delle batterie non solo presenterebbero un prezzo d'acquisto sensibilmente inferiore rispetto agli ICEVs, ma incorporare il loro finanziamento in un network service contract supererebbe i limiti di autonomia tipici degli EVs con batteria fissa ('fixed-battery EV').

- Il secondo **vincolo** è di carattere **infrastrutturale** e riguarda la rete di distributori pubblici di energia elettrica per le auto ibride, rete che per essere efficace deve avere un carattere pervasivo per assicurare ai possessori di auto elettriche di ricaricarle vicino alle loro abitazioni, agli hotel dove alloggiano, ai cinema o ai centri commerciali dove possono spendere il tempo libero. L'infrastruttura di ricarica rappresenta uno dei maggiori costi di un sistema di mobilità fondato sugli EVs. Le stime del BCG (2010) valutano i costi dell'installazione di una tale struttura nel 2020 intorno ai 20 miliardi di \$ (40% negli USA, 30% in Europa, e il restante 30% nel resto del mondo). Una quota maggioritaria di tale cifra (il 60%, equivalente a circa 12 miliardi di \$) dovrà essere finanziata attraverso da enti e imprese pubbliche. Si tratta quindi di investimenti elevati per le imprese produttrici di energia elettrica per cui se il loro costo venisse totalmente posto a carico dei consumatori, questi non sarebbero incentivati ad acquistare auto elettriche. Per quanto riguarda poi gli impianti di generazione dell'elettricità, secondo l'analisi del BCG l'incremento totale della domanda di elettricità creata da tutti i veicoli elettrici nel 2020 corrisponderà a meno dell'1%, dunque a breve termine la loro introduzione non richiederà un potenziamento della capacità di generazione di energia degli impianti esistenti. Ma se gli EVs

⁷ Per una introduzione al tema si veda Beaume, Midler (2009) oltre al sito dell'impresa <http://www.betterplace.com/> dove si trova questa presentazione del progetto: "*Better Place delivers the network and services that make an electric car affordable to buy, easy to use, and amazing to own. Subscription packages give drivers access to a network of charge spots, battery switch stations and systems that optimize the driving experience and minimize environmental impact and cost*".

raggiungessero una quota di mercato pari al 3-5%, la domanda di elettricità aumenterebbe dell'1% annuo, e in queste condizioni le imprese dovrebbero potenziare le proprie strutture/capacità.

In sostanza, "under these conditions, it is unlikely that power company will invest in the needed charging infrastructure without powerful government incentives and a clear technology road map from OEMs" (BCG, 2009, pag. 9).

- Il terzo vincolo riguarda gli **elevati investimenti in R&S**. Poiché l'auto elettrica è un prodotto relativamente nuovo occorrono continui investimenti in R&S per aumentarne l'efficienza e diminuirne il costo. Ma i vincoli finanziari derivanti dalla attuale crisi e la ristrettezza di fondi porranno alle imprese, sia case auto che componentisti, la necessità di scelte di bilancio che potranno impattare negativamente sullo sviluppo dell'auto elettrica e favorire invece lo sviluppo dei programmi relativi alle vetture tradizionali. Di fronte al rischio di tagli ai bilanci della ricerca i governi potranno svolgere un ruolo attivo fornendo incentivi e risorse finanziarie (come nel caso degli USA, della Francia e della Germania).

- Un quarto vincolo, non strettamente economico, è relativo al **comportamento dei consumatori** (si veda la figura 6), la loro accettazione della vettura elettrica. Occorre infatti tenere conto che, nella loro valutazione, questi soggetti non tengono solo conto del confronto tra i costi totali di gestione di vetture alternative ma anche di una serie di fattori emozionali e sociali come l'attenzione all'inquinamento atmosferico. È anche vero però che tali elementi finiscono per riguardare solo alcuni segmenti di consumatori, quelli che si comportano da *early adopters* e che possono influenzare i decisori politici verso investimenti nell'auto elettrica; ma per la maggior parte dei consumatori, la decisione sarà basata sul confronto tra i diversi costi totali di gestione.

In conclusione, la necessità di raggiungere più stringenti standard per quanto riguarda le emissioni di CO₂ obbligherà i costruttori auto a introdurre nella loro gamma di vetture anche quelle elettriche; rispetto al passato però, le case auto da sole non saranno in grado di sostenere un approccio più sostenibile all'ambiente. Sarà in ogni caso necessario che i governi forniscano adeguati incentivi sia ai consumatori per l'acquisto di auto elettriche, sia ai produttori di auto e di batterie per la ricerca, sia ai produttori di energia elettrica per la realizzazione di una adeguata infrastruttura: in caso contrario "the electric vehicle may be off to another false start" (BCG 2009, pag. 9) confermando quindi ancora una volta che ci troviamo di fronte a una tecnologia 'eternamente emergente' (Frery, 2000).

Più in generale, possiamo sostenere che per il successo di questa tecnologia è necessaria l'integrazione e la cooperazione di una serie di stakeholders: le case auto, i produttori di batterie, gli stati, i fornitori di servizi di mobilità, le public utilities dell'energia.

In termini strettamente economici vale la domanda "who will pay for the electric car?" tenendo conto che BCG (2009, pag. 7) calcolava che "in Europe alone, in 2020, under the steady-pace scenario, the embedded extra product costs for the new propulsion-technology mix will come to a staggering \$49 billion. Investments totalling an additional \$21 billion will be needed by then for battery-charging infrastructure". Costi che possono essere distribuiti solo su di una varietà di attori.

6. La cooperazione tra diversi attori

In effetti, a partire dagli ultimi anni del secolo scorso si è andata infittendo la rete di alleanze e cooperazioni tra i vari soggetti appartenenti alla filiera dell'auto elettrica; una esemplificazione, non esaustiva, delle alleanze che coinvolgono le case auto si trova di seguito.

Il punto di partenza per interpretare queste alleanze tra case auto e produttori di batterie, che peraltro si vanno estendendo, è che, come già ricordato, le batterie sono il componente più importante per determinare le performance delle vetture e rappresentano oltre un terzo del costo delle vetture stesse. Le case auto non vogliono dipendere totalmente dai fornitori di batterie e quindi stipulano accordi per controllare sia lo sviluppo della tecnologia sia le attività di produzione

In questo contesto, i rapporti tra case auto e produttori di batterie possono essere classificate sotto tre specie (Calabrese 2009):

- una semplice relazione di domanda e offerta;
- una partnership per lo sviluppo delle batterie;
- costituzione di joint venture, la modalità più sicura per stare sulla frontiera tecnologica.

Le alleanze e le joint consentono alle case auto un accesso esclusivo al know-how, alla tecnologia e alla capacità di produzione del fornitore di batterie, permettendo loro di differenziare i propri veicoli in base alla tecnologia delle batterie. Ma al vantaggio si accoppia un rischio, quello di limitare la propria capacità di reagire velocemente ai risultati conseguiti da altri produttori di batterie e di limitare anche gli effetti di scala e la conseguente riduzione dei costi.

Ma le alleanze coinvolgono anche i produttori di batterie e i fornitori di primo livello (ad esempio Johnson Control con Saft negli USA ed in Europa, Bosch e Samsung nella joint SB Li Motive) ma questo tipo di collaborazione potrebbe crescere nel medio periodo, secondo le previsioni di BCG (2010) (figura 9): si tratta, per i componentisti, di prendere atto che il controllo dei costi, nei veicoli elettrici, si sposta verso i produttori di batterie, ma essi possono offrire la loro competenza nell'integrazione dell'auto per offrire ai produttori di batterie accesso ad un più ampio ventaglio di rapporti con case auto. Per le case auto questa tendenza comporta un minor controllo della tecnologia e della conoscenza delle batterie ma offre il beneficio dello sfruttamento delle economie di scala, la riduzione dei costi di switching nel caso dovessero emergere nuove alternative tecnologiche. Tali benefici verrebbero incrementati nel momento in cui si arrivasse ad una standardizzazione nella tecnologia delle batterie.

Principali alleanze

DAIMLER

1. Accordo con Tesla per la trasmissione della Smart Fortwo elettrica
2. Sviluppo batterie con Continental AG
3. Accordo con Evonik Industries per cooperare sulla R&S e sulla produzione di celle per batterie agli ioni di litio

Vw

1. Accordo con Sanyo Electric per lo sviluppo di batterie Ni-MH per veicoli ibridi nel 2006, esteso nel 2009 alle batterie agli ioni di litio
2. Accordo di collaborazione con la cinese BYD
3. Accordo con Sanyo Electric Co. per la sua tecnologia agli ioni di litio per una PHEV Audi nel 2010
4. Accordo con Toshiba nel 2009 per la fornitura del sistema di potenza, delle batterie e degli inverter per veicoli elettrici
5. Accordo con Toshiba Battery per le batterie da utilizzare nelle vetture piccole

PSA

Accordo con Mitsubishi Motors per la vendita in Europa di un clone della Mitsubishi i-Miev

MITSUBISHI

Accordo con GS-YUASA, nella joint Lithium Energy per le batterie della i-Miev

TOYOTA

Joint venture con la Matsushita Electric Industrial nella Panasonic EV Energy, per la produzione di batterie

GM

Accordo con Compact Power, una joint di LG Chem, A123Systems e Continental AG per batterie agli ioni di litio

FORD

Accordo con Johnson Control-Saftsta per sviluppare batterie agli ioni di litio per PHEV

NISSAN

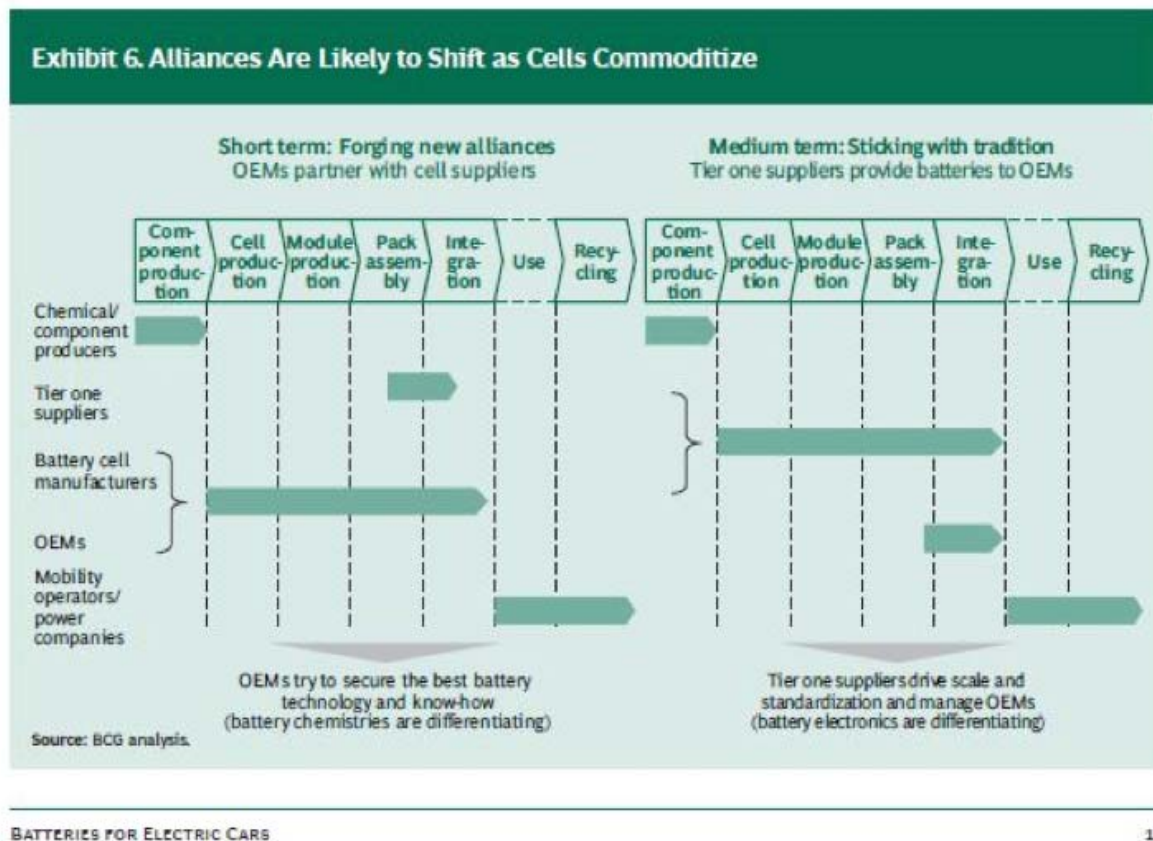
Joint con produttore batterie NEC nella Automotive Energy Supply Corporation

HONDA

Accordo con GS-YUASA nella Joint Blue Energy

NB: GS YUASA, si tratta del primo produttore di batterie in Giappone e il secondo nel mondo

Figura 9



Fonte: BCG 2010

Altri soggetti coinvolti nel sistema delle alleanze e della cooperazione sono i fornitori di servizi di mobilità e le public utilities dell'energia. Questa tipologia di alleanze risulta evidente nel caso del modello di mobilità promosso da Better Place in Israele e Danimarca dove, oltre ai governi nazionali, si trovano altri soggetti promotori dell'iniziativa: le utilities dell'energia elettrica (DONG Energy, Danimarca) per l'installazione delle stazioni di ricarica e la fornitura dell'energia elettrica eolica, il Comune di Gerusalemme e le Ferrovie israeliane per l'installazione delle stazioni di ricarica nella capitale e nelle vicinanze delle principali stazioni ferroviarie.

7. Chiave teorica e discussione

Gran parte della letteratura di economia industriale ed economia dell'innovazione del XX secolo è stata dominata dalla presunta superiorità del modello della grande impresa che introduce innovazioni di successo attraverso l'integrazione verticale delle attività di R&S, beneficiando dei vantaggi derivanti da economie di scala e di scopo nella R&S, (Chandler, 1977; Penrose, 1959). Tuttavia, la recente crisi di questo modello, con le grandi imprese

che vedono cadere i loro margini di autonomia e di auto-sufficienza, ha contribuito a riaprire il dibattito sulle virtù dell'organizzazione decentralizzata delle attività innovative e produttive. All'interno di tale dibattito, un'ampia gamma di soluzioni ibride, basate sull'outsourcing, sulle transazioni di mercato, sulle alleanze e sulle collaborazioni hanno sostituito la grande impresa come locus per eccellenza di produzione di innovazione (Langlois, 2004). I networks e le forme ibride tra gerarchia e mercato emergono cioè come le soluzioni più efficaci per la gestione dell'innovazione in quanto la collaborazione favorisce l'accesso ad un ampio ventaglio di competenze tecnologiche complementari, rappresentando un'opportunità di ricombinare competenze esistenti - portate avanti dalla singola impresa - in nuova conoscenza (Ozman 2009).

In questa prospettiva, sta acquisendo crescente favore all'interno degli studi sull'innovazione, la convinzione per cui la creazione e la trasmissione di conoscenza tecnologica, e più in generale il processo di innovazione, debbano essere considerati un'attività collettiva con un forte carattere sistemico, basato sulla complementarità, per esempio, tra gli sforzi innovativi delle imprese lungo tutta la 'supply chain' e il supporto di centri di ricerca e laboratori universitari. In particolare, gli approcci che analizzano l'innovazione come un'attività collettiva e distribuita, che emerge dal contributo congiunto di diversi attori, evidenziano come nessuna impresa possa dominare interamente tutte le competenze tecnologiche ed organizzative necessarie allo sviluppo delle nuove tecnologie.

In un ambiente produttivo e competitivo caratterizzato da continui cambiamenti nelle caratteristiche dei prodotti e nelle tecnologie di produzione, e da incertezza radicale, relativamente sia alle condizioni del mercato, sia alle preferenze dei consumatori, sia all'evoluzione delle tecnologie disponibili, la singola impresa difficilmente riesce a gestire al proprio interno, attraverso i soli investimenti attivati individualmente, tutte le competenze necessarie al processo di generazione di nuova conoscenza e, in ultima analisi di innovazione. Ogni impresa possiede infatti risorse limitate e specifiche, e dunque domina moduli specializzati e complementari di tecnologia e conoscenza (Cohen e Levinthal 1989).

Il carattere collettivo della conoscenza non è solo l'effetto della condivisione statica o della distribuzione di conoscenza, ma richiede necessariamente la partecipazione reciproca e pro-attiva di attori con competenze differenti e complementari, al fine di trarre vantaggio dalle interdipendenze e dagli spillover che derivano dalle indivisibilità nel processo di produzione e innovazione (Patrucco, 2008). Richiede in altre parole la coordinazione dinamica tra attori eterogenei (Chesbrough 2003), in contrapposizione ad un'idea di allocazione statica delle risorse disponibili.

Ciò implica che la tradizionale logica lineare che vedeva l'innovazione come un effetto diretto e pressoché automatico degli investimenti interni in R&S e dei processi di learning by doing deve essere sostituita; non solo le imprese devono strutturarsi in modo da poter trarre vantaggio dalla conoscenza esterna disponibile (Chesbrough, Vanhaverbeke e West, 2006) integrandola efficacemente con quella prodotta internamente, ma che le industrie e le filiere stesse devono riconfigurare i propri confini e le proprie strutture per beneficiare

di competenze e tecnologie sviluppate in altri settori (Jacobides, Knudsen e Augier, 2006). Quanto più le imprese si basano su collaborazioni esterne, tanto più i confini dell'impresa diventano meno netti, più sfumati, e l'organizzazione dell'innovazione si basa su una fitta rete di interazioni e collaborazioni all'interno di un sistema che si sovrappone solo parzialmente con quello settoriale.

In questo contesto, numerose analisi si sono concentrate sulle caratteristiche delle innovazioni e sul modo di governarle. Alcuni studi hanno recentemente mostrato che il comportamento organizzativo delle imprese differisce in dipendenza dalla natura dell'innovazione. La maggior parte delle analisi ha così individuato un continuum innovativo che vede ad un estremo cambiamenti incrementali (doing things better) a cambiamenti radicali (doing new things) (Tidd, Bessant e Pavitt, 2005). Tushman e Anderson (1986) hanno sottolineato che le innovazioni radicali cambiano quelli che loro chiamano 'core technical concepts' e le connessioni tra questi, e ciò determina il vincolo da parte degli incumbents di sostenere costi elevatissimi per costruire le nuove competenze necessarie ad adattarsi a tale cambiamento. Henderson e Clark (1990) ampliano tale concetto facendo riferimento al grado di integrazione sistemica, distinguendo le innovazioni modulari (in cui le connessioni tra i 'core concepts' e i componenti rimangono invariate) e innovazioni architettoniche (in cui tali connessioni vengono meno). In modo particolarmente rilevante ai fini della nostra analisi, David Teece (1984) introduce la distinzione tra innovazioni radicali o sistemiche, per usare la sua definizione, e innovazioni incrementale o autonome. Le prime vengono definite come nuovi prodotti o tecnologie che richiedono significativi cambiamenti in altre parti ed elementi interconnessi del sistema economico in cui si inseriscono. In particolare, Teece (1986) caratterizza le innovazioni sistemiche come quella categoria di innovazioni che richiedono lo sviluppo di beni, competenze e innovazioni complementari al fine di massimizzarne le rendite attraverso il processo di commercializzazione. In altre parole, i vantaggi delle innovazioni sistemiche possono essere realizzati solo in combinazione con lo sviluppo di innovazioni complementari - in contrapposizione alle innovazioni autonome, che si inseriscono facilmente nel sistema già esistente senza comportare cambiamenti simultanei e diffusi in ogni parte del sistema, e possono essere realizzate indipendentemente da altre innovazioni (Chesbrough e Teece 1996). Secondo Teece (1984), più un'innovazione si configura come sistemica, più efficiente e appropriata la sua gestione attraverso il modello dell'impresa verticalmente integrata, che riduce di fatto l'incertezza e i costi di coordinamento.

Se da un lato le innovazioni complementari sono fondamentali per il successo commerciale di un'innovazione, la maggior parte degli studi hanno dato per scontato il loro sviluppo, hanno spesso considerato come dato il processo di co-evoluzione tra innovazione sistemica e innovazioni complementari, senza analizzarne le condizioni e le determinanti. Tuttavia, in un ambiente in rapido cambiamento e altamente competitivo come quello attuale, non si può immaginare che un'impresa attenda l'emergere spontaneo di tali risorse complementari necessarie (Chesbrough, Vanhaverbeke e West, 2006). Come possono dunque le imprese condurre attivamente lo sviluppo di innovazioni sistemiche? Nel caso dell'innovazione sistemica infatti le imprese devono coordinarsi con i produttori di prodotti complementari e in molti casi anche con gli stessi concorrenti per assicurare l'attuabilità

dell'innovazione, piuttosto che coordinarsi esclusivamente con consumatori e fornitori, come frequentemente accade nei modelli tradizionali, in cui il processo innovativo è visto come un'attività lineare. Ciò rende le imprese in misura crescente dipendenti da altri, da innovatori complementari. Ecco perché nel caso delle innovazioni sistemiche difficilmente l'integrazione verticale è un'opzione praticabile. I processi di innovazione sono sempre più processi collaborativi, ciò spinge le imprese alla ricerca di nuovi strumenti di governance. Dato dunque che spesso i processi di innovazione sistemica vanno al di là dei confini di una singola impresa, implicando il coordinamento di parti diverse del 'value network', esse richiedono un modello aperto di organizzazione dell'innovazione (Chesbrough, 2003). Da qui, dovrebbe essere chiara la necessità di individuare nuovi business models più appropriati a favorire l'organizzazione dell'innovazione come attività collettiva e distribuita.

L'evidenza sulle auto elettriche sembra indicare che, sia da un punto di vista pratico che da uno teorico, la stretta complementarità delle attività e delle competenze richieste rende preferibile e più efficace un modello organizzativo aperto e collettivo. Da questo punto di vista, è interessante riscoprire, accanto all'analisi sulla natura delle innovazioni sistemiche portata avanti da Teece, il classico lavoro G. B. Richardson (1972). Richardson articolava la sua analisi intorno all'idea, simile a quella di Teece, che le competenze necessarie a generare un'innovazione sistemica siano strettamente complementari e collegate, e che per garantire il successo dell'innovazione in questione sia necessario un coordinamento stringente, ed un adattamento reciproco delle diverse tecnologie e competenze che devono essere integrate al fine di produrre un'innovazione sistemica. Nel momento in cui l'impresa non è in grado di acquisire e organizzare tali competenze da sola, tendono ad emergere alcune forme intermedie di coordinamento quali le licenze, le alleanze e le joint venture.

La creazione di innovazioni sistemiche richiede l'interazione dinamica tra innovatori complementari, che includono incumbents, startups, istituti di ricerca, realizzabile attraverso vari meccanismi di collaborazione che comprendono consorzi di settore, programmi di ricerca, e piattaforme comuni per il coordinamento dell'innovazione. In particolare, il coordinamento dinamico delle competenze dei diversi attori richiede inevitabilmente una dimensione gerarchica per garantire un livello sufficiente di convergenza e coesione del complesso insieme di incentivi, obiettivi e interazioni che caratterizza un'innovazione come quella rappresentata dall'introduzione dell'auto elettrica. Nessuna impresa può infatti dominare tutte le risorse tecnologiche e organizzative necessarie per rendere tale coordinamento efficace dal punto di vista tecnologico ed efficiente in termini di costi di coordinamento. Sono pertanto necessarie forme intermedie di organizzazione (in grado di coniugare i benefici della cooperazione con i vantaggi del coordinamento gerarchico) centrate su imprese chiave che 'dirigano' il processo di innovazione, quali le piattaforme per l'innovazione⁸.

⁸ Per alcuni contributi recenti sulla nozione di piattaforme, si vedano Gawer, 2009; Consoli e Patrucco, 2008 e 2010.

Le piattaforme possono essere definite come network gerarchici, cioè come reti in cui le interazioni non emergono e non si evolvono spontaneamente, come ad esempio nella letteratura tradizionale sui distretti industriali, e come ipotizzato dalla teoria dei sistemi adattivi complessi, ma in cui i nodi (le imprese) chiave esercitano un effetto 'guida' sul comportamento degli altri attori, direzionando così il comportamento e l'evoluzione del sistema nel suo complesso. L'evidenza empirica mostra l'emergere di piattaforme per l'innovazione in molti settori in cui l'innovazione e la produzione di nuova conoscenza è in misura crescente l'effetto dell'integrazione di competenze diverse e complementari, diffuse e disperse tra attori eterogenei (oltre al settore automobilistico, quello bancario, dell'elettronica, del software, del bio-medicale). L'elemento distintivo è rappresentato dalla ricerca attiva dello sfruttamento di complementarità (rispetto alla semplice agglomerazione) tra attività differenti. Le piattaforme per l'innovazione sono quindi strutturate e progettate in vista di precisi e determinati obiettivi innovativi (a differenza di fenomeni spontanei come i network).

Questo sembra essere precisamente il caso dell'auto elettrica, dove in un'ottica di strategie di collaborazione più tradizionali, rientrano ad esempio le alleanze tra OEMs e produttori di batterie, e quelle tra produttori di batterie e first tier suppliers, come in parte esemplificato nella sezione 6. Tuttavia, la chiave del successo potrebbe però dipendere dall'adozione di un business model radicalmente nuovo, una disruptive strategy (Barkenbus, 2009) che potrebbe essere più facilmente implementata da nuovi entranti.

Uno dei casi più evidenti in questa direzione è appunto quello della piattaforma sviluppata da BetterPlace, che presenta un modello di business totalmente nuovo al settore dell'auto, in cui il possesso della batteria è indipendente e separato dal produttore di auto, e i consumatori pagano per il trasporto attraverso un contratto basato sulle miglia percorse. Fulcro di tale modello è un operatore che gestisce la rete elettrica di ricarica (Electric recharge grid operator, ERGO) che possiede le batterie, stipula i contratti con i consumatori finali, e si occupa dell'installazione dell'infrastruttura necessaria - incluse stazioni di ricarica nelle città e 'punti' di ricambio delle batterie per spostamenti di lunga distanza. I consumatori sono così in grado di scegliere tra vari tipi di contratti (illimitato, un limite di un massimo di miglia al mese o un sistema 'pay-as-you-go').

Better Place ha implementato tale modello costituendosi come leader all'interno di una piattaforma in grado di coordinare soggetti economici a più livelli. Al fine di organizzare e coordinare l'introduzione dell'auto elettrica in paesi come Israele e Danimarca, BetterPlace ha infatti realizzato partnership di ampio respiro, proponendosi come un integratore di sistema tra i governi e le imprese di diversi settori, da quello automobilistico, a quello delle batterie fino a quello dei servizi (compagnie fornitrici di energia elettrica).

Di particolare interesse la partnership con Nissan-Renault per la produzione dei veicoli e con i governi di Israele e Danimarca, (Aggeri, Elmquist e Pohl, 2009; Beaume-Midler, 2009), dove Renault-Nissan è responsabile del design dei veicoli per il primo progetto pilota e della loro produzione su larga scala entro il 2011. Più precisamente, Renault produrrà veicoli secondo un 'high standard quality', in grado di competere con ICEVs, basati sul

modello Megane. Una joint-venture tra Nissan e NEC fornirà batterie agli ioni di litio (Li-Ion batteries), una tecnologia come si è visto ancora relativamente recente, molto avanzata per gli EVs ma consolidata nel settore dell'elettronica di consumo. Inoltre, Nissan-Renault e BetterPlace gestiranno congiuntamente tutti i servizi connessi con l'intero ciclo di vita del veicolo, dal mantenimento alla ricarica delle batterie, oltre al possibile cambio di batterie che i consumatori necessiteranno per le proprie automobili.

Ma la partnership tra Renault-Nissan Alliance e Project Better Place rappresenta solo una parte di una più ampia partnership necessaria all'introduzione e allo sviluppo degli EVs. Altri attori sono necessari per proporre gli EVs in un paese specifico. Innanzitutto uno o più fornitori di energia elettrica. In secondo luogo - dato che nel breve periodo il costo degli EVs non può essere competitivo senza adeguati incentivi - è chiaro che lo sviluppo degli EVs è possibile solo in paesi, come nel caso di Israele e Danimarca, i cui governi accettino di adottare uno schema di politica economica e fiscale specifico per gli EVs, con incentivi e sostegno all'innovazione tecnologica da un lato e sgravi fiscali dall'altro.

Come si è visto nell'analisi sviluppata in questo articolo, il successo dell'introduzione delle auto elettriche, e la velocità della sua diffusione, dipende da un'ampia gamma di fattori tecnologici, sociali e istituzionali tra di loro interdipendenti, come la sensibilità della domanda al prezzo della benzina, la diffusione delle infrastrutture elettriche per la ricarica delle batterie, il raggiungimento di una massa critica dal punto di vista della produzione, l'abbattimento dei costi di produzione delle batterie, l'individuazione di specifici segmenti di mercato e l'intervento pubblico da parte dei governi dei singoli paesi attraverso incentivi e sostegno alla ricerca (Hensley, Knupfer and Pinner, 2009). L'introduzione dei veicoli elettrici può dunque essere considerata un'innovazione sistemica (Barkenbus, 2009 p. 404) ed aperta, nella misura in cui differenti attori (produttori d'auto tradizionali, produttori di batterie, società elettriche, integratori di sistema) sono chiamati a contribuire con risorse, competenze e tecnologie complementari e convergono verso obiettivi comuni ed incentivi come in una vera e propria attività collettiva come nel caso delle esperienze di paesi come la Danimarca e Israele, e della piattaforma implementata da BetterPlace.

BIBLIOGRAFIA

Aggeri, F., Elmquist, M. and Pohl, H. (2009) Managing learning in the automotive industry: The innovation race for electric vehicles, *International Journal of Automotive technology and Management* 9 (2), 123-147.

Automotive News, Electric cars win hype, staying power questioned, April 6, 2010

Barkenbus, Our electric automotive future: CO2 savings through a disruptive technology, *Policy and Society* 27 (2009). p. 399-410

Boston Consulting Group, The Comeback of the Electric Car? FOCUS, 1/09 rev 2

Boston Consulting Group, Batteries for Electric Cars, FOCUS, 1/10

Beaume R., Midler C. (2009), From technology competition to reinventing individual ecomobility: new design strategies for electric vehicles, *International Journal of Automotive Technology and Management*, 9 (2), 174-190

Calabrese G., editorial to Special Issue on Innovation Design and Sustainable Development in the Automobile, *International Journal of Automotive Technology and Management*, Volume 9 - Issue 2 2009

Center for Entrepreneurship and Technology, Berkeley, Electric Vehicles in the United States. A New Model with Forecast to 2030 (2009)

Chandler, A. D. (1990) *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*, Cambridge, MA, Belknap Press.

Chesbrough, H. W. (2003) *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Chesbrough, H. W. e Teece, D. J. (1996), When is virtual virtuous? Organizing for Innovation, *Harvard Business Review* 74 (1), 65-73

Chesbrough, H. W., Vanhaverbeke, W. and West, J. (eds.) (2009), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford: Oxford University Press.

Cohen, W. M. and Levinthal, D.A. (1989) Innovation and learning: the two faces of R&D, *Economic Journal* 99 (397), 569-596.

Consoli, D. e Patrucco, P. P. (2008), Innovation platforms and the governance of knowledge: Evidence from Italy and the UK, *Economics of Innovation and New Technology* 17 (7), 701-718.

Consoli, D. e Patrucco, P. P. (2010), Complexity and the coordination of technological knowledge: The case of innovation platforms, in C. Antonelli (a cura di), *The System Dynamics of Technological Change*, Cheltenham, Edward Elgar, forthcoming.

Deutsche Bank (2008), *Electric Cars: Plugged In. batteries must be included*, FITT Research, 9 June.

Frery F., *Un cas d'amnésie stratégique: l'éternelle émergence de la voiture électrique*, IXème Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier, 24, 25 et 26 mai 2000

Gawer, A. (a cura di) (2009), *Platforms, Markets and Innovation*, Cheltenham, Edward Elgar.

Hoyer K. G. (2008), The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars, in *Technology, Design & Environment* 16, 63-71.

Henderson, R. M. e Clark, K. B. (1990), Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms, *Administrative Science Quarterly* 35, 9-30.

Hensley, R., Knupfer, S. e Pinner, D. (2009), *Electrifying cars: How three industries will evolve*, *McKinsey Quarterly* 3, 87-96.

Jacobides, M.G., Knudsen, T. and Augier, M. (2006), Benefiting from innovation: Value creation, value appropriation and the role of industry architectures, *Research Policy* 35, 1200-1221.

Langlois, R. N. (2004), *The Vanishing Hand: The changing dynamics of industrial capitalism*, *Industrial and Corporate Change* 12, 351-385

National Research Council, *Transitions to Alternative Transportation Technologies-Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, The National Academy Press, 2010

Ozman, M. (2009), Inter-firm networks and innovation: A survey of literature, *Economics of Innovation and New Technology* 18 (1), 39-67.

Patrucco, P. P. (2008), The economics of collective knowledge and technological communication, *Journal of Technology Transfer* 33 (6), 579-599.

Penrose, E. (1959), *The Theory of the Growth of the Firm*, Oxford, Oxford University Press.

Richardson, G. B. (1972), The organisation of industry, *Economic Journal* 82, 883-896.

Stocchetti A., Volpato G. (2010), In quest for a sustainable motorisation: the CNG opportunità, *International Journal of Automotive Technology and Management* 10 (1), 13 - 36

Teece, D. J. (1984) *Economic analysis and strategic management*, *California Management Review* 26 (3), 87-110.

Teece, D. J. (1986) Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy, *Research Policy* 15 (6), 285-305

Tidd, J., Bessant, J. e Pavitt, K. (2005), *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*, London, Wiley.

Xianjuin Li (2010), *Evolution and Situation of China's Automotive Industry*, Paper presented to the seminar on the Global situation of the automotive industry, Torino 14th to 15th of April, 2010