Quali energie muoveranno l'automobile?

72^ Conferenza del Traffico e della Circolazione

Roma 22 Novembre 2017

Fondazione Filippo Caracciolo
Centro Studi

Automobile Club d'Italia

La Fondazione Filippo Caracciolo-Centro studi dell'Automobile Club d'Italia è un istituto di ricerca indipendente e senza fini di lucro costituito allo scopo di realizzare e promuovere studi e ricerche nei settori dei trasporti, della sicurezza stradale e della mobilità sostenibile dal punto di vista energetico e ambientale.

www.fondazionecaracciolo.aci.it
fondazione.caracciolo@aci.it

***Presidente*:** Giuseppina Fusco
***Direttore esecutivo*:** Michele Giardiello

Presentazione

I prossimi anni vedranno, quasi certamente, forti e progressivi cambiamenti nella trazione automobilistica. Gli impegni presi da molti paesi a Kyoto e Parigi – che i paesi europei hanno ratificato e l'Europa intende rispettare – prevedono infatti una riduzione molto importante delle emissioni di gas serra; i trasporti in generale e la mobilità automobilistica in particolare, che contribuiscono oggi in modo sostanziale alle emissioni, dovranno contribuire altrettanto sostanzialmente alla loro riduzione.

La strategia dell'Unione Europea è molto ambiziosa: punta, per il 2050, ad ottenere una "low-carbon economy" che riduca le emissioni di gas serra (rispetto al 1990) di almeno l'80%, con il contributo di tutti i settori; per i trasporti la riduzione dovrà essere almeno del 60%. È evidente che gli obiettivi non sono facili da raggiungere; la stessa UE ricorda che il settore dei trasporti ancora nel 2014 causava emissioni di gas serra maggiori rispetto al 1990 e prevede comunque che il contributo percentuale del trasporto stradale al totale delle emissioni, oggi superiore al 20%, aumenterà almeno fino al 2030, viste le difficoltà tipiche del settore, per poi diminuire. I livelli di riduzione previsti sono così ambiziosi da richiedere strategie articolate e complesse capaci di intervenire sui sistemi di mobilità (contenendo la domanda e favorendo una mobilità più sostenibile, investendo sui trasporti collettivi e sulla logistica, aumentando l'efficienza dei sistemi di trasporto) che interesseranno certamente anche l'automobile: dovranno infatti essere ridotte, in modo sostanziale, le emissioni di gas serra per ogni km percorso dai veicoli stradali.

La riduzione delle emissioni unitarie dei veicoli stradali, nella misura resa necessaria dagli obiettivi globali sopra citati, potrà essere ottenuta solo da una forte innovazione nella trazione e nei combustibili: combustibili efficienti e alternativi (benzine e gasoli migliorati, biocombustibili, gas - compresso o liquefatto -, idrogeno, combustibili sintetici…), aumento di efficienza dei motori e del loro impiego nell'uso normale, mobilità elettrica in tutte le sue forme (dai veicoli ibridi ai "full electric"), sono alcuni degli elementi chiave per l'innovazione. Le soluzioni possibili sono diverse e, al momento, sono ancora oggetto di ricerca; è abbastanza evidente che, tenuto conto sia della radicalità di alcune delle soluzioni allo studio sia dell'importanza sociale ed economica del mercato dell'automobile e dei tempi necessari al ricambio, si tratterà di una "transizione" lenta e progressiva. Gli stessi documenti di sostegno alla strategia UE parlano di una "transizione" che richiederà tempi lunghi e prevedono che, volendo raggiungere l'obiettivo 2050 e gli obiettivi intermedi (2030 e 2040), il mercato dell'auto sarà in evoluzione continua. Secondo la UE nel breve termine il maggior contributo potrà venire dal miglioramento congiunto dei combustibili e dei motori, mentre nel medio e lungo termine saranno i veicoli (leggeri) ibridi ed elettrici, accompagnati dalla generazione di fonti rinnovabili o nucleari oppure dalla cattura e confinamento della CO_2 e dai necessari interventi sulle "reti smart", a fornire la soluzione; per i veicoli pesanti, sempre secondo la UE, un ruolo importante sarà giocato dai biocombustibili.

È in conclusione ragionevole prevedere che il mercato dell'auto – pur nel quadro di una transizione energetica verso un'economia "low carbon" – vedrà, nel prossimo futuro, la

convivenza necessaria di soluzioni diverse, anche con tempi diversi di introduzione. Varie considerazioni portano a questa conclusione; occorre tener conto che oggi non si vede una soluzione tecnologica che – da sola e subito – possa ottenere i risultati desiderati: troppe e troppo importanti le incognite; lunghi i tempi di realizzazione di quanto necessario a una introduzione di massa di sistemi innovativi; molto vasto e diversificato il mercato dei veicoli stradali, con necessità molto articolate.

È anche evidente che, per raggiungere gli obiettivi citati, saranno necessari investimenti importanti, sia per le attività di ricerca e sviluppo che per le infrastrutture di supporto alle nuove forme di mobilità automobilistica e sarà quindi opportuno mantenere un contesto che giustifichi e motivi questi investimenti. Inoltre, per favorire lo sviluppo e l'ingresso sul mercato di tecnologie migliori, saranno opportuni interventi normativi o accordi di lungo respiro (quali, ad esempio, gli accordi che hanno motivato e accompagnato lo sviluppo di carburanti più efficienti e la definizione di limiti progressivi sulle emissioni inquinanti e sulle emissioni medie di CO_2). Potrebbero infine essere valutati interventi di incentivo capaci di orientare le scelte del mercato e accelerare il ricambio.

Se si considera l'incertezza sugli scenari futuri e, ancor più, la necessità che diverse soluzioni (e diversi settori industriali) concorrano in modo positivo e sostanziale alla transizione, si può notare che, mentre dovranno essere certamente favoriti gli investimenti in ricerca e sviluppo, sarà invece necessario agire con scelte razionali e ponderate sugli interventi normativi e, in misura ancor maggiore, sugli incentivi economici. Scelte razionali potranno essere fatte solo pesando in modo chiaro costi e benefici complessivi, valutando con chiarezza le diverse alternative e considerando opportunamente le necessità delle varie fasi della transizione. Non si dovranno trascurare le ricadute sui settori industriali che, nessuno escluso, dovranno contribuire con i necessari investimenti alla transizione e alle tecnologie di breve, medio e lungo periodo. Soprattutto, si dovrà prestare particolare attenzione alle ricadute sull'automobilista e sul consumatore in generale: per l'automobilista sarà importante considerare i costi finali del veicolo e del suo uso, per il consumatore in generale occorrerà prestare attenzione a che nuovi possibili costi e nuovi possibili vincoli rispettino i principi di equità. L'automobilista, in un contesto di evoluzione del mercato dell'auto, dovrà poter compiere le proprie scelte di acquisto in modo informato e poter utilizzare l'auto nel ciclo di vita a costi ragionevoli e prevedibili. Stabilità e trasparenza sono le parole chiave; la stabilità è fondamentale per permettere a tutti gli attori – industria, autorità pubbliche e automobilisti, ciascuno nelle proprie responsabilità e possibilità – di fare le proprie scelte e i propri investimenti; la trasparenza nel processo decisionale – che porti a una strategia chiara e comprensibile - è la condizione per la stabilità.

ACI, consapevole dell'importanza della condivisione delle strategie per l'evoluzione energetica dell'automobile, ha inteso, con la 72^ Conferenza del Traffico e della Circolazione, promuovere un confronto tra i protagonisti in campo e si impegna a proseguire nel monitoraggio del processo evolutivo in atto, anche al fine di supportare scelte razionali e consapevoli che tengano conto delle esigenze degli automobilisti.

"Presente e futuro energetico": analisi delle tendenze attuali, alla luce degli impegni e delle strategie enunciate; esame generale delle possibili alternative – rischi, opportunità e prospettive

Ennio Macchi[1]

Premessa

Energia e sviluppo sono sempre stati un binomio inscindibile nella storia dell'umanità: è grazie alla disponibilità di fonti di energia economiche e facilmente accumulabili e convertibili in forme utili all'uomo (energia termica, meccanica, frigorifera, luminosa, ecc.) quali i combustibili fossili che l'umanità ha conosciuto il grande progresso che ha caratterizzato gli ultimi secoli per le nazioni industrializzate. Questo trend positivo non è completato ma è tuttora in atto, perché, purtroppo, ne è tuttora esclusa una rilevante frazione della popolazione mondiale[2].[3]

È solo negli ultimi decenni che l'utilizzo dei combustibili fossili è stato posto sotto accusa, per due ordini di motivi, entrambi legati a preoccupazioni ambientali: (i) l'emissione di sostanze nocive che si sviluppano durante la combustione e peggiorano la qualità dell'aria che respiriamo e (ii) l'emissione di gas clima-alteranti (in primis, l'anidride carbonica), responsabili del cosiddetto riscaldamento globale. Mentre per il primo aspetto i progressi tecnologici sono stati formidabili (oggi una moderna centrale termoelettrica a carbone ha emissioni specifiche inferiori di ordini di grandezza rispetto a quelle delle centrali di qualche decennio orsono, così come accade per una moderna automobile, per una turbina a gas, ecc.) e hanno ancora importanti margini di miglioramento, per il secondo i progressi sono stati inevitabilmente modesti, essendo unicamente legati al miglioramento del rendimento delle tecnologie (minor consumo del combustibile e quindi minori emissioni di CO_2 a parità di effetto utile). Questo ha comportato un continuo incremento delle emissioni di gas clima-alteranti, che ha portato a concentrazioni di CO_2 nell'atmosfera superiori a valori oggi superiori a 400 ppm, un valore più che doppio rispetto a quelli dell'era pre-industriale.

Il tema dominante quindi, in questo convegno, come in ogni altro consesso in cui si discute di energia, è come coniugare sviluppo (che richiederà sempre maggiore energia) ed abbattimento (fino all'azzeramento, in tempi lunghi) delle emissioni di CO_2.

---

[1]Professore emerito, Dipartimento Energia, Politecnico di Milano.

[2] Oltre 1 miliardo e mezzo di persone non hanno accesso all'energia elettrica, ed un altro miliardo ne dispone saltuariamente e con reti inaffidabili. A queste bisogna aggiungere quelle persone che usano biomassa con metodi super-inefficienti per la cottura dei cibi, con gravi ricadute sulla salute e sull'uso del proprio tempo.

[3] La disponibilità di energia per il singolo individuo è una risorsa essenziale per disporre dei servizi di base ed è condizione necessaria per la promozione umana e sociale. Senza energia diviene più complesso depurare e sanificare le acque, conservare i farmaci o fare funzionare i presidi sanitari, migliorare la produzione agricola, conservare i cibi, accrescere le opportunità di scolarizzazione e di educazione, accedere al mondo delle telecomunicazioni, avviare attività commerciali e industriali, in una parola vivere dignitosamente.

Nel seguito presenteremo alcuni dati sintetici sulla situazione energetica mondiale, evidenziando le tendenze in atto e discuteremo sulle prospettive del tema più dibattuto, l'utilizzo del vettore energetico elettrico per la mobilità e il trasporto.

Il quadro attuale e le previsioni future della richiesta di energia "primaria"

La fig.1 mostra l'andamento della richiesta di energia complessiva nel mondo, divisa per aree geopolitiche: le prime tre barre si riferiscono a dati storici, quelle successive sono previsioni, contenute nello scenario IEA "New Policies"[4], il più realistico dei vari scenari prospettati dall'IEA. Si può vedere come la domanda di energia del mondo sia in continua crescita: è previsto un raddoppio entro il 2040 rispetto al valore del 1990. Da sottolineare come, mentre nel 1990 oltre la metà dell'energia mondiale era destinata ai paesi industrializzati (Nord America, EU, Giappone e Korea), essi consumeranno nel 2040 solo un quarto della domanda complessiva. Tutta la crescita avverrà nelle parti del mondo, principalmente in Asia.

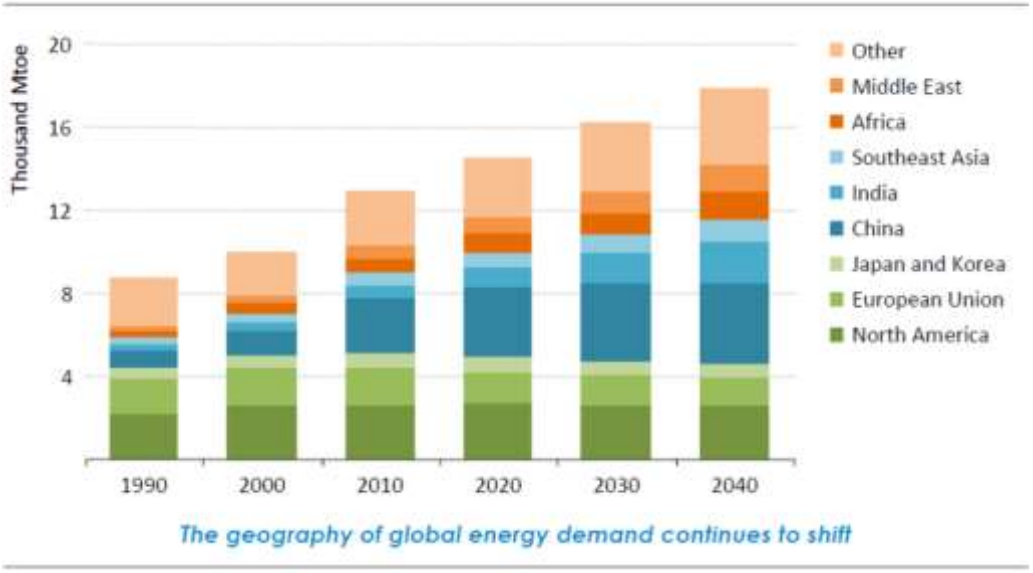


Figura 1 *Andamento temporale della domanda di energia primaria nelle varie aree geopolitiche del mondo (fonte IEA World Energy Outlook 2016)*

Un quadro più completo della situazione energetica attuale è fornito nella figura 2, che indica i contributi forniti nelle varie aree dalle fonti energetiche, raggruppate nelle tre forme di fonti

[4] Il primo scenario (CPS, Current Policies Scenario), a volte citato anche come BAU (Business as Usual), considera unicamente gli effetti dei provvedimenti di contenimento delle emissioni adottati formalmente entro il giugno 2016.
Il secondo scenario (New Policies Scenario) incorpora, oltre ai provvedimenti antecedenti il giugno 2016, anche quelli promessi o auspicati dalle varie nazioni a seguito del COP 21 di Parigi. Include quindi gli effetti in termini di emissioni e di energia conseguenti ai cosiddetti NCDS (Nationally Determined Contributions), gli impegni assunti dalle varie nazioni.
Il terzo scenario (450S) ipotizza infine un'evoluzione delle tecnologie, dei consumi e del mix di fonti energetici tali da centrare l'obiettivo di contenere in 2 °C l'aumento di temperatura rispetto ai valori pre-industriali, limitando la concentrazione di CO_2 in atmosfera a 450 ppm.

fossili (carbone, gas e petrolio), rinnovabili e nucleare. Emerge, fatto ampiamente noto, come il contributo dei combustibili fossili sia di gran lunga maggioritario (81%). Si può notare altresì come l'Unione Europea primeggi nell'utilizzo delle tecnologie "zero-emission" (nucleare e rinnovabili), la Cina sia il maggiore consumatore di carbone e di petrolio e gli USA siano i primi consumatori di gas naturale.

Gli stessi dati, questa volta riferiti all'anno 2040, ovviamente meno certi perché risultanti da uno scenario, mostrano un forte incremento dei consumi mondiali (+30,5%), con un ruolo ancora dominante (74%) delle fonti fossili, dove si registra una forte crescita del gas naturale (+49%), che supera così, sia pur di poco, il carbone. Il contributo delle rinnovabili aumenta significativamente (+80%), ma rimane sotto il 20% del totale. La Cina diventa la principale consumatrice di tutte le fonti di energia, ad eccezione del gas naturale, per cui rimane il primato degli USA.

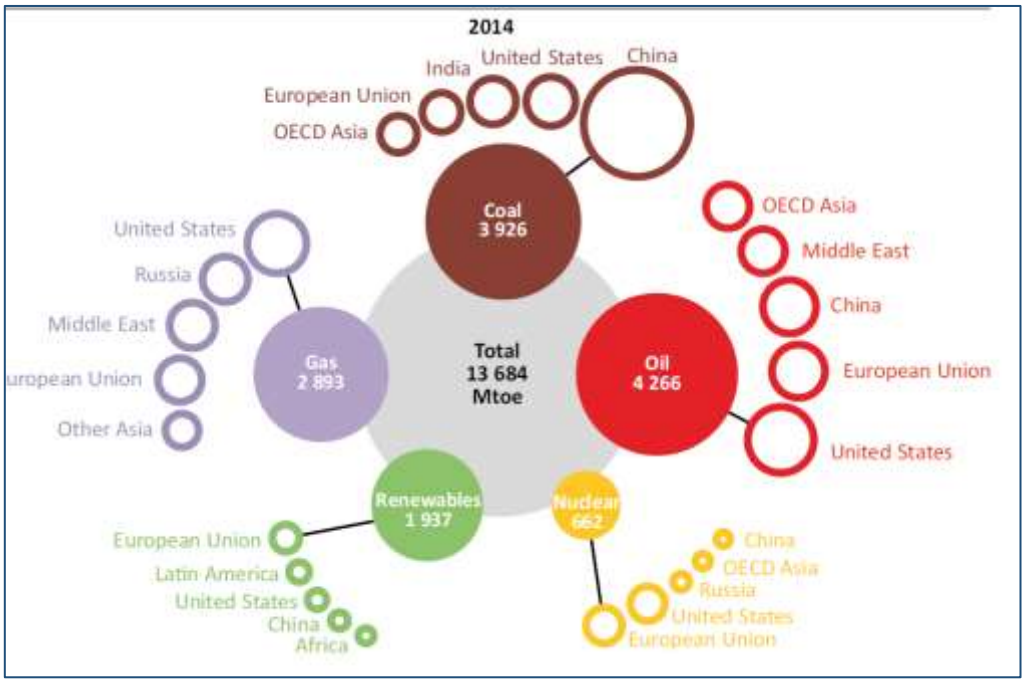


Figura 2 *Consumi di energia primaria suddivisi per fonti di energia e per aree geo-politiche del mondo (fonte IEA World Energy Outlook 2016).*
Dati a consuntivo per l'anno 2014

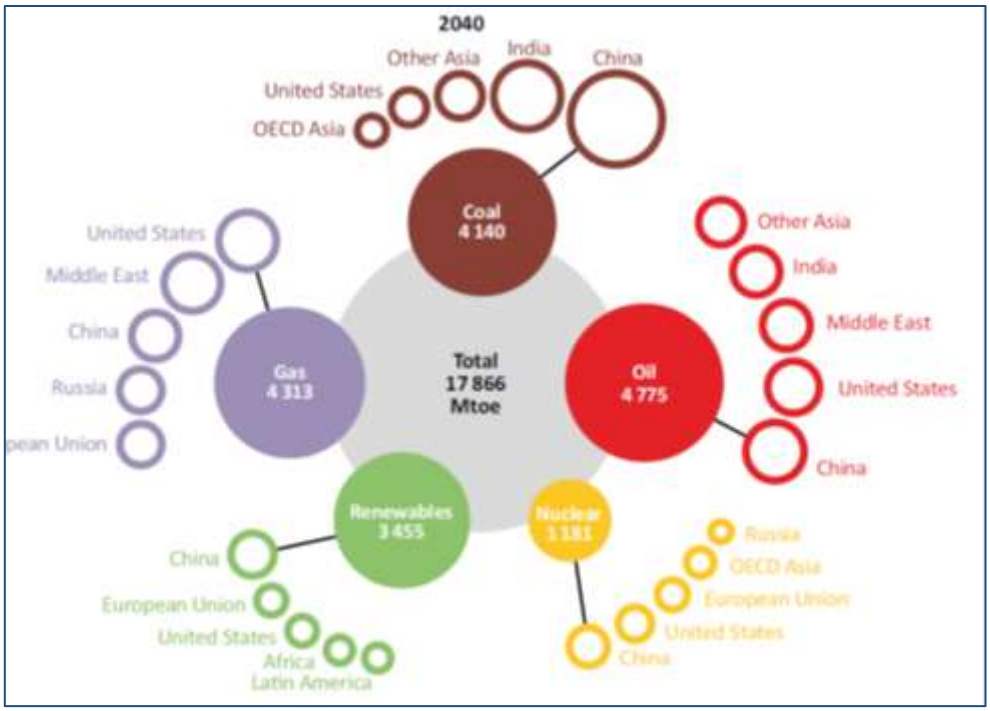


Figura 3 *Previsione dei consumi di energia primaria suddivisi per fonti di energia e per aree geo-politiche del mondo (fonte IEA World Energy Outlook 2016).*
I dati sono frutto delle elaborazioni riferite all'anno 2040 per lo scenario NPS.

I dati sulla produzione elettrica mondiale

Per meglio inquadrare le prospettive della penetrazione del vettore elettrico per i trasporti e la potenzialità di questa penetrazione sulle emissioni di CO_2, può essere utile esaminare in dettaglio l'evoluzione recente della produzione elettrica mondiale. I dati che riporto nelle tab.1 e 2 sono ricavati da ENERDATA, pubblicati ogni anno sul sito TERNA e sono relativi agli anni 2015 (tab.1) e 2010 (tab.2). I primi dati che vorrei sottolineare riguardano la percentuale di produzione mondiale elettrica da fonte eolica e solare – le due fonti rinnovabili su cui si accentra il dibattito - nel 2015: rispettivamente 3,5% e 1%, un contributo assai modesto. Dominante è la produzione da centrali termoelettriche, che sfiora il 70% del totale.

Tabella 1 Dati relativi alla produzione elettrica mondiale per l'anno 2015 (fonte ENERDATA)

	Idrica	Eolica	Fotovoltai	Termica	Geotermi	Nucleare	Totale	Quota
TWh								
MONDO	**3988**	**847**	**253**	**16352**	**81**	**2574**	**24094**	**100,0%**
EUROPA	**893**	**319**	**110**	**2.816**	**15**	**1.166**	**5319**	**25,0%**
UE 28	*371*	*304*	*108*	*1.584*	*7*	*857*	*3.229*	*15,6%*
Italia	47	15	*23*	*192*	*6*	*0*	*283*	1,4%
RESTO D'EUROPA	*523*	*15*	*02*	*1.232*	*09*	*309*	*2.089*	*9,4%*
AMERICA	**1383**	**262**	**39**	**3912**	**29**	**969**	**6594**	**29,7%**
AFRICA	**127**	**10**	**2**	**635**	**5**	**12**	**791**	**3,1%**
Sud Africa	4	2	2	228	0	12	*248*	1,2%
ASIA	**1.546**	**242**	**96**	**8.753**	**24**	**425**	**11084**	**40,8%**
Cina	1118	190	45	4173	0	171	*5.696*	19,6%
Giappone	91	5	36	871	3	9	*1.015*	5,1%
India	124	41	7	1135	0	37	*1.345*	4,5%
OCEANIA	**39**	**14**	**7**	**235**	**8**	0	**303**	**1,4%**
Australia	12	11	6	222	0	0	*251*	1,2%
							100%	
QUOTA	**16,55%**	**3,52%**	**1,05%**	**67,87%**	**0,34%**	**10,68%**		

Tabella 2 Dati relativi alla produzione elettrica mondiale per l'anno 2010 (fonte ENERDATA)

	Idrica	Eolica	Fotovoltaica	Termica	Geotermica	Nucleare	Totale	Quota
TWh								
MONDO	**3485,9**	**335,355**	**30,635**	**14619,6**	**67,307**	**2753,6**	**21292,4**	**100,0%**
EUROPA	**884,4**	**150,578**	**22,919**	**3048,6**	**11,199**	**1204,4**	**5322,2**	**25,0%**
UE 27	*395,6*	*146,546*	*22,837*	*1844,3*	*5,602*	*916,1*	*3331,0*	*15,6%*
Italia	54,4	9,126	1,906	231,2	5,376	-	302,1	1,4%
RESTO D'EUROPA	*488,9*	*4,032*	*0,082*	*1204,3*	*5,597*	*288,3*	*1991,2*	*9,4%*
AMERICA	**1360,8**	**104,992**	**2,641**	**3862,2**	**26,768**	**955,9**	**6313,2**	**29,7%**
AFRICA	**109,9**	**2,337**	**0,246**	**543,7**	**1,318**	**12,6**	**670,1**	**3,1%**
Sud Africa	4,4	0,032	0,021	242,6	-	12,6	259,6	1,2%
ASIA	**1092,7**	**71,434**	**4,270**	**6914,8**	**22,046**	**580,7**	**8685,9**	**40,8%**
Cina	720,9	44,081	0,348	3344,4	-	73,9	4183,6	19,6%
Giappone	82,6	3,788	2,758	699,7	2,651	288,2	1079,8	5,1%
India	117,6	21,447	0,043	783,8	-	25,5	948,4	4,5%
OCEANIA	**38,7**	**6,013**	**0,535**	**254,3**	**5,976**	**-**	**305,5**	**1,4%**
Australia	12,5	4,385	0,535	238,8	-	-	256,3	1,2%
QUOTA	**16,37%**	**1,57%**	**0,14%**	**68,66%**	**0,32%**	**12,93%**	**100,00%**	

Se si osservano i dati di tab.3, che definiscono la differenza, in TWh, fra le produzioni 2015 e 2010, si vede che nel quinquennio considerato la produzione elettrica mondiale è aumentata di oltre il 2,6 % all'anno e che questo incremento è stato in gran parte coperto dalle centrali alimentate a combustibili fossili. Spicca (ultima riga di tab.3) il fortissimo incremento percentuale della produzione fotovoltaica (aumentata di oltre 8 volte in cinque anni!) e di quella eolica (+150%).

Tabella 3 Variazione della produzione elettrica mondiale fra l'anno 2015 e l'anno 2010 (fonte ENERDATA)

	Idrica	Eolica	Fotovoltaica	Termica	Geotermica	Nucleare	Totale	Quota
TWh								
MONDO	**502**	**512**	**222**	**1732**	**13**	**-180**	**2802**	**13,2%**
EUROPA	**9**	**169**	**87**	**-233**	**4**	**-38**	**-3**	**0,0%**
UE 27	-25	157	85	-261	1	-59	-102	-0,5%
Italia	-7	6	21	-39	1	0	-19	-0,1%
RESTO D'EUROPA	34	11	2	28	3	21	98	0,5%
AMERICA	**22**	**157**	**37**	**50**	**2**	**13**	**281**	**1,3%**
AFRICA	**17**	**8**	**2**	**91**	**3**	**-0**	**121**	**0,6%**
Sud Africa	**-1**	**2**	**2**	**-15**	**0**	**-0**	**-12**	-0,1%
ASIA	**453**	**170**	**91**	**1838**	**2**	**-156**	**2399**	**11,3%**
Cina	**397**	**145**	**45**	**829**	**0**	**97**	**1512**	7,1%
Giappone	**9**	**1**	**33**	**171**	**-0**	**-279**	**-65**	-0,3%
India	**6**	**20**	**7**	**351**	**0**	**12**	**396**	1,9%
OCEANIA	**1**	**8**	**6**	**-20**	**2**	**0**	**-3**	0,0%
Australia	**-0**	**7**	**5**	**-17**			**-5**	**0**
variazione %	**14,40%**	**152,56%**	**725,34%**	**11,85%**	**19,97%**	**-6,52%**	**13,16%**	**13,16%**

Tabella 4 Variazione percentuale della produzione elettrica fra l'anno 2015 e anno 2010 (fonte ENERDATA). Ogni dato è calcolato come differenza percentuale fra i valori delle tab.1 e 2

	Idrica	Eolica	Fotovoltaica	Termica	Geotermica	Nucleare	Totale
TWh							
MONDO	**2,08%**	**2,12%**	**0,92%**	**7,19%**	**0,06%**	**-0,74%**	**11,63%**
EUROPA	**0,04%**	**0,70%**	**0,36%**	**-0,97%**	**0,02%**	**-0,16%**	**-0,01%**
UE 27	-0,10%	0,65%	0,35%	-1,08%	0,00%	-0,25%	-0,42%
Italia	-0,03%	0,02%	0,09%	-0,16%	0,00%	0,00%	-0,08%
RESTO D'EUROPA	0,14%	0,05%	0,01%	0,11%	0,01%	0,09%	0,41%
AMERICA	**0,09%**	**0,65%**	**0,15%**	**0,21%**	**0,01%**	**0,05%**	**1,17%**
AFRICA	**0,07%**	**0,03%**	**0,01%**	**0,38%**	**0,01%**	**0,00%**	**0,50%**
Sud Africa	*0,00%*	*0,01%*	*0,01%*	*-0,06%*	*0,00%*	*0,00%*	*-0,05%*
ASIA	**1,88%**	**0,71%**	**0,38%**	**7,63%**	**0,01%**	**-0,65%**	**9,96%**
Cina	1,65%	0,60%	0,19%	3,44%	0,00%	0,40%	6,28%
Giappone	0,04%	0,01%	0,14%	0,71%	0,00%	-1,16%	-0,27%
India	0,02%	0,08%	0,03%	1,46%	0,00%	0,05%	1,65%
OCEANIA	**0,00%**	**0,03%**	**0,03%**	**-0,08%**	**0,01%**	**0,00%**	**-0,01%**
Australia	**0,00%**	**0,03%**	**0,02%**	**-0,07%**	**0,00%**	**0,00%**	**-0,02%**
QUOTA 2010	**16,37%**	**1,57%**	**0,14%**	**68,66%**	**0,32%**	**12,93%**	
QUOTA 2015	**16,55%**	**3,52%**	**1,05%**	**67,87%**	**0,34%**	**10,68%**	
Delta %	**0,18%**	**1,94%**	**0,91%**	**-0,80%**	**0,02%**	**-2,25%**	

Questi dati vanno però inquadrati in termini relativi rispetto alla produzione complessiva, come evidenziato in tab. 4, che riporta la variazione percentuale, a pari area e fonte energetica, fra i due anni considerati per ognuna delle produzioni. Come evidenziato nell'ultima riga, si scopre così che i contributi percentuali delle varie fonti al fabbisogno elettrico mondiale presentano variazioni minime. La variazione maggiore è quella del nucleare, in negativo (-2,25%), di poco superiore in valore assoluto rispetto alla variazione

positiva (+1,94%) dell'eolico. Tutte le variazioni percentuali relative alle altre fonti energetiche sono inferiori all'1%.

In conclusione, dai dati sopra riportati emerge che negli scorsi anni la domanda (e quindi la produzione) elettrica è costantemente cresciuta a ritmi dell'ordine del 2,6% all'anno e che a questa crescita hanno contribuito le varie fonti energetiche, con apporti che percentualmente hanno registrato variazioni modeste. I combustibili fossili hanno continuato a fornire il contributo maggiore. Solare ed eolico hanno fortemente aumentato la produzione, che comunque rimane complessivamente inferiore al 5% del totale.

Cosa si può prevedere per il futuro?

Diversi organismi hanno elaborato i futuri scenari energetici. Come sempre, queste previsioni sono fortemente dipendenti dalle ipotesi adottate. Se ad esempio si prendono in esame i tre scenari proposti da IEA sopra ricordati, si ottengono i risultati rappresentati sinteticamente nella figura 4. Si può vedere come:

- Tutti gli scenari prevedono una forte crescita del prodotto lordo mondiale, che quadruplica nei primi 40 anni del millennio
- La variazione della domanda di energia raddoppia per lo scenario CPS, con un incremento quasi parallelo delle emissioni di CO_2, come logica conseguenza del contributo prevalente delle fonti fossili a tale incremento
- Lo scenario NPS, che considera gli effetti benefici del COP 21 di Parigi, prevede una riduzione della richiesta energetica (conseguenza di una politica più aggressiva di efficienza energetica) e una più sensibile riduzione delle emissioni di CO_2, frutto principalmente di politiche incentivanti a favore delle fonti rinnovabili
- Lo scenario "450" differisce radicalmente dai primi due: prevede una sostanziale stabilità della domanda energetica dal 2015 in poi e una fortissima riduzione delle emissioni

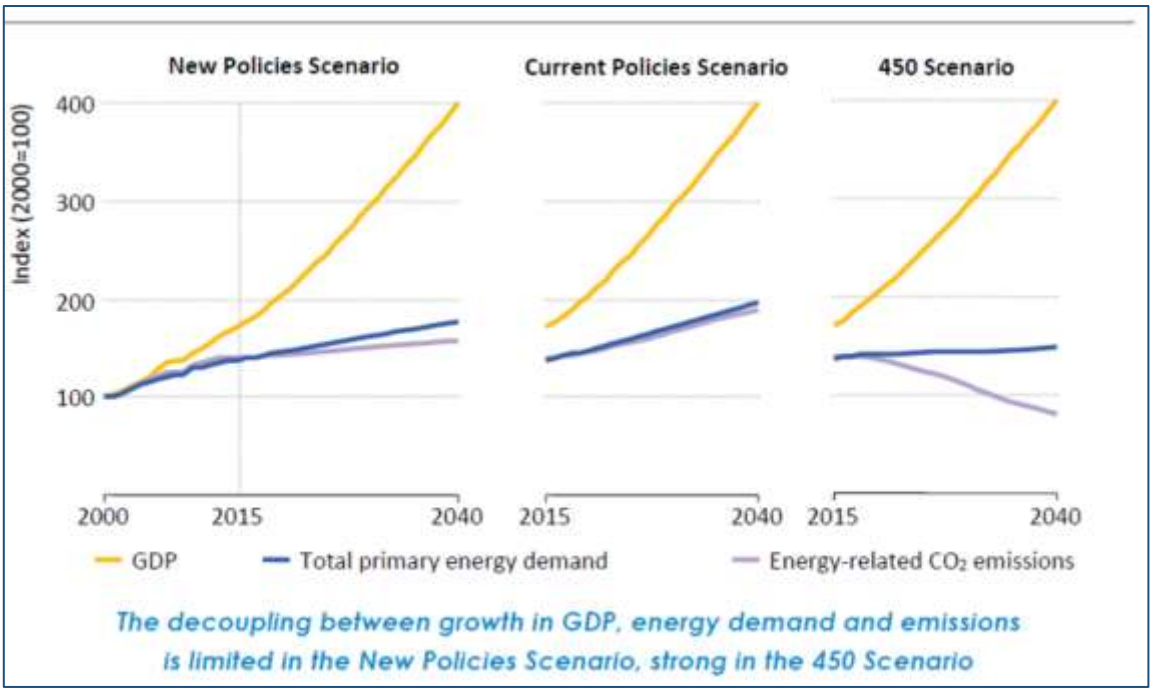


Figura 4 *Andamento temporale del prodotto lordo mondiale, della domanda di energia primaria e delle emissioni di CO_2 previsti per i tre diversi scenari prospettati dall'IEA*

Queste simulazioni mettono in evidenza come i provvedimenti previsti negli accordi di Parigi siano ben lungi dal soddisfare il quadro emissivo previsto dallo scenario "rassicurante" per la salute del nostro Pianeta. Servirebbero ben altre misure, per provocare l'auspicata totale discontinuità rispetto alla situazione attuale. Ad esempio, il settore della produzione elettrica dovrebbe subire una completa rivoluzione, quale quella illustrata nella fig. 5, anch'essa tratta dall' IEA Energy Outlook 2016, scenario 450. Questo scenario è realizzabile solo a seguito di una serie di trasformazioni radicali, tutte difficilmente realizzabili:

- Un forte incremento (+135%) della produzione nucleare
- Un forte incremento della produzione idroelettrica (+80%)
- Un fortissimo incremento della produzione eolica (+760%)
- Un incremento ancora maggiore (+1200%) della produzione solare
- Un fortissimo incremento (+690%) della produzione di altre rinnovabili
- La realizzazione e messa in esercizio di centrali CCS (Carbon Capture and Storage) in grado di produrre 2728 TWh/anno

Tutte misure tecnicamente fattibili, poiché la potenzialità delle fonti energetiche è enorme. La loro realizzazione incontrerebbe però enormi difficoltà di ogni genere (autorizzative, ambientali, politiche): soprattutto, porterebbero a un formidabile rialzo dei costi energetici, difficilmente compatibile con lo sviluppo.

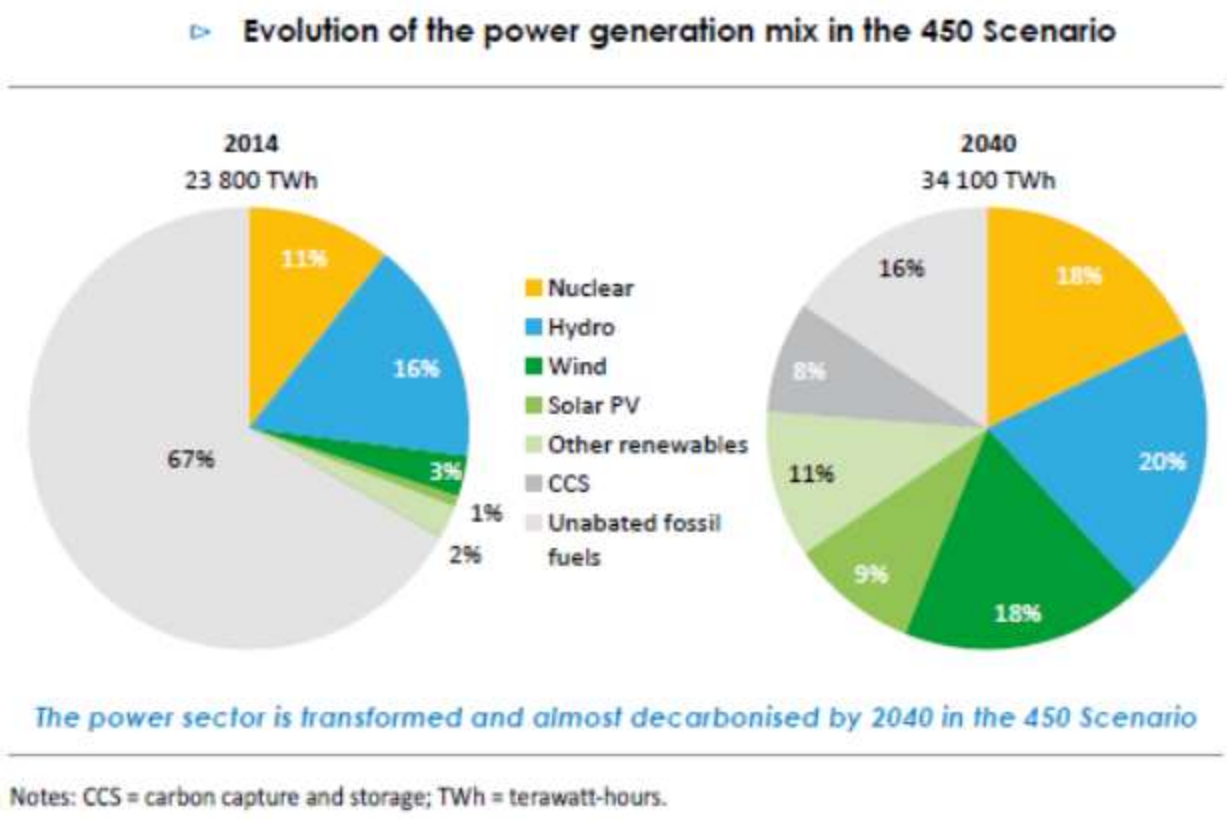


Figura 5 *La radicale trasformazione del settore di produzione elettrica necessaria per attuare la "decarbonizzazione" richiesta per contenere l'incremento della temperatura entro 2°C.*

Conclusioni

Lo scenario energetico che si presenta è quanto mai incerto: gli sviluppi ragionevolmente prevedibili (forte incremento delle rinnovabili, miglioramento dell'efficienza energetica, razionalizzazione dei consumi, incremento negli usi del gas naturale a scapito dei più inquinanti carbone e petrolio, ecc.) e coerenti con quanto avvenuto nel recente passato sono certamente auspicabili e alla nostra portata. Purtroppo, per contenere la concentrazione di anidride carbonica entro i limiti che i più accreditati modelli climatici ritengono necessari per evitare, o comunque contenere entro limiti sopportabili, gli effetti legati al cambiamento climatico, sarebbero necessari cambiamenti assai più radicali, il cui avvento è difficilmente prevedibile.

In sintesi, non esistono risposte certe e realistiche al dilemma cui si trova di fronte l'umanità: come garantire l'accesso all'energia a tutta la popolazione del pianeta rispettando l'ambiente.

Venendo al tema del convegno, una maggiore penetrazione del vettore elettrico per il trasporto è certamente auspicabile, per i molti motivi tecnologici, economici e ambientali che verranno trattati nel corso del convegno dai qualificati relatori che seguiranno il mio intervento. Purtroppo, nel valutare tali vantaggi, non è realistico ipotizzare che la domanda elettrica aggiuntiva richiesta dall'elettrificazione dei trasporti sarà prodotta con tecnologie

“zero emission”: la produzione da rinnovabili e nucleare è – e sarà per molti decenni – già insufficiente per soddisfare gli altri usi elettrici finali e non aumenterà grazie a questa ulteriore domanda. Questo è un punto importante, a mio parere spesso non considerato da chi calcola i benefici dell’auto elettrica in termini di riduzione di emissioni di CO_2.

L'Unione dell'energia e i trasporti

Samuele Furfari[5]

L'ambiente, una priorità

L'Unione europea è nel mondo la regione economica che più di ogni altra ha fatto della protezione dell'ambiente una forte priorità. Nell'articolo 3 del Trattato di Lisbona si legge che l'Unione "si adopera per lo sviluppo sostenibile dell'Europa, basato [...] su un elevato livello di tutela e di miglioramento della qualità dell'ambiente". Non si tratta dunque soltanto di non inquinare ma anche di migliorare le situazioni di degrado. Non deve dunque sorprendere che la lotta all'inquinamento urbano faccia parte delle strategie dell'UE. Ovviamente, le municipalità e altri enti locali sono in prima linea per esercitare il loro diritto-dovere nella protezione dell'ambiente. La sussidiarietà si applica pienamente in quest'ambito così cruciale della tutela dell'ambiente. Ma l'UE ha anche un ruolo d'inquadramento, di stimolo e di esemplarità.

In particolare stiamo assistendo a una focalizzazione sull'inquinamento dovuto al traffico urbano. Di là dalla problematica, certamente molto rilevante, del rumore, la principale fonte di preoccupazione ambientale è l'inquinamento atmosferico causato dall'utilizzo dell'energia fossile nei motori termici. L'inquinamento dovuto all'abrasione degli pneumatici non è da trascurare ma non è della stessa natura dell'inquinamento creato dalla combustione degli idrocarburi. È quindi sul piano dell'energia che occorre cercare in primis la soluzione.

L'Unione dell'energia

Poiché dunque la questione dei trasporti è innanzitutto energetica, non è sorprendente notare che la Commissione dell'UE se ne occupa con rinnovata attenzione nella nuova strategia dell'"Unione dell'energia" che è il perno dell'attuale politica energetica dell'UE[6]. Il pacchetto "Unione dell'energia" intende garantire all'Europa e ai suoi cittadini e imprese energia sicura e sostenibile a prezzi accessibili. Misure specifiche riguardano cinque ampi settori: sicurezza energetica, solidarietà e fiducia, mercato interno dell'energia, riduzione della domanda di energia attraverso l'efficienza energetica, decarbonizzazione dell'economia che significa innanzitutto sviluppo delle energie da fonti rinnovabili e ricerca, innovazione e competitività. L'obiettivo generale è quello di trasformare l'UE in un'economia a basse emissioni di carbonio entro il 2030, favorendo l'efficienza energetica, mantenendo la leadership a livello mondiale nelle energie rinnovabili e garantendo condizioni eque ai consumatori sia domestici sia industriali.

Molto spesso si confondono energia ed elettricità poiché quest'ultimo vettore ci consente di vivere un confort mai sperimentato prima. Però, l'elettricità è la forma di energia finale meno

[5]Professore di politica e geopolitica dell'energia – Università Libera di Bruxelles e Consigliere del Direttore generale DG Energia – Commissione Europea

[6] Commissione europea, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo, al Comitato delle regioni e alla Banca europea per gli investimenti, Una strategia quadro per un'Unione dell'energia resiliente, corredata da una politica lungimirante in materia di cambiamenti climatici, COM (2015) 80 finale del 25.2.2015.

rilevante in percentuale. Soltanto il 22% dell'energia finale consumata in Europa lo è sotto forma di elettricità. Quella più consistente in percentuale è il calore e raffrescamento che rappresentano il 50% del nostro fabbisogno energetico. Il 28% rimanente riguarda l'argomento di questo incontro: il trasporto.

L'UE e il trasporto

La Commissione europea intende sviluppare e promuovere politiche di trasporto efficienti, sicure e sostenibili e creare le condizioni necessarie per un'industria competitiva che generi posti di lavoro e prosperità. Oggi la mobilità è sempre più importante nella nostra società. Si prevede che le attività di trasporto in tutta Europa continueranno a crescere. Fra il 2010 e il 2050 il trasporto passeggeri dovrebbe aumentare del 42% circa, mentre quello merci del 60%[7]. Questa tendenza rende ancora più difficile la realizzazione di un sistema di mobilità sostenibile. Oggi la mobilità è il principale settore economico in tutto il mondo. Nell'UE, il settore dei trasporti e dello stoccaggio impiega oltre undici milioni di persone e rappresenta così più del 5% degli occupati e quasi il 5% del prodotto interno lordo dell'Unione europea. Rappresenta inoltre il 20% circa delle esportazioni dell'Unione europea verso i principali partner commerciali dell'Unione.

Il trasporto su strada è il principale modo di trasporto utilizzato nell'UE: costituisce la metà del totale delle attività di trasporto merci (quasi i tre quarti su strada) ed è la principale forma di trasporto privato dei cittadini. Si calcola che le imprese di autotrasporto dell'UE diano lavoro direttamente a circa cinque milioni di persone, che lavorano in circa 915 000 aziende, per lo più di dimensioni piccole e medie.

Con l'obiettivo di contribuire allo sviluppo di una mobilità urbana efficiente e sostenibile, nel gennaio del 2017 la Commissione ha inaugurato un partenariato per la mobilità tra l'UE, i governi nazionali, le autorità locali e gli altri soggetti interessati nell'ambito dell'agenda urbana per l'UE. L'accento sarà posto su trasporto pubblico, mobilità sostenibile e accessibilità (per rispondere alle esigenze di gruppi quali i disabili, gli anziani e i bambini), trasporto efficiente con una buona connettività locale e regionale, e su come sfruttare la mobilità urbana per garantire elevati standard di qualità dell'aria nelle città europee. L'obiettivo è preparare un piano d'azione da attuare dal 2018, approfittando dell'esperienza maturata con numerosi progetti CIVITAS e dei piani di mobilità urbana sostenibile elaborati finora.

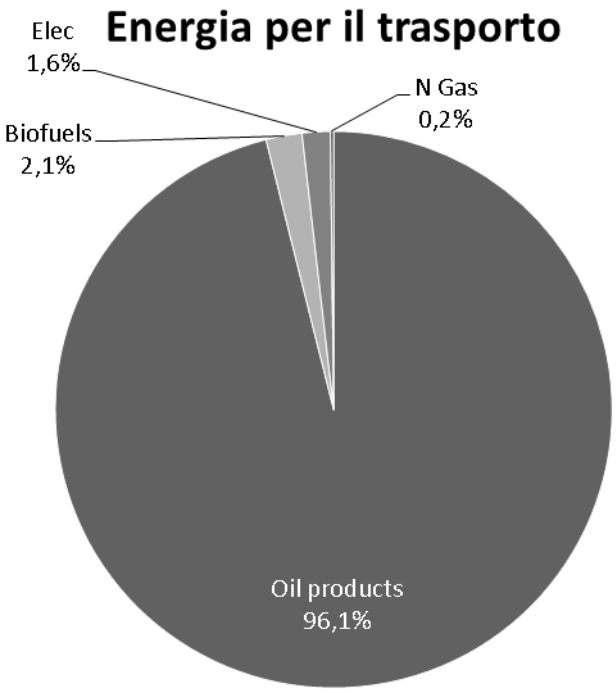
La politica dell'UE cerca quindi di aiutare a risolvere i principali problemi del settore come la congestione sia stradale sia aerea, le infrastrutture che purtroppo non presentano uno sviluppo uniforme nell'UE, la concorrenza sempre più forte sui mercati mondiali in rapido sviluppo. Per quando riguarda la sostenibilità e più precisamente le emissioni di gas serra, il settore dei trasporti produce quasi un quarto del totale delle emissioni di questi gas. Inoltre, nell'UE, il trasporto è l'unico settore le cui emissioni di gas serra sono aumentate dal 1990, complessivamente di quasi il 22%. È per tale motivo che il *Libro bianco sui trasporti* del 2011

7 Commissione europea, L'Europa in movimento, Un'agenda per una transizione socialmente equa verso una mobilità pulita, competitiva, e interconnessa per tutti, COM(2017) 283 finale del 31.5.2017

chiede una riduzione delle emissioni del 20% tra il 2008 e il 2030 e almeno del 60% tra il 1990 e il 2050, nonché una riduzione delle emissioni del trasporto marittimo internazionale del 40% tra il 2005 e il 2050.

Il nesso trasporti - petrolio

Tornando al centro del nostro argomento, dobbiamo riconoscere che uno dei maggiori problemi del settore dei trasporti è la dipendenza dal petrolio. Benché i trasporti siano diventati più efficienti in termini di consumi energetici, continuano a dipendere dai prodotti petroliferi per il 96% del loro fabbisogno di energia. Anche qui sorprende la parte dell'elettricità che presenta valori al di sotto del 2%, tram, metro e treni inclusi.



Per tanto, il *Libro bianco sui trasporti* propone l'uso del 40% di carburanti sostenibili a basso tenore di carbonio nel settore dell'aviazione entro il 2050, e la diminuzione del 50% entro il 2030 e del 100% entro il 2050 della quota delle autovetture a carburante tradizionale nei trasporti urbani. Certo, questi obiettivi non hanno ancora forza di legge poiché non sono stati concordati nella legislazione secondaria dell'UE.

L'8 novembre 2017 la Commissione ha proposto nuovi obiettivi per le emissioni medie di CO_2 del nuovo parco autovetture e veicoli leggeri dell'UE al fine di accelerare la transizione ai veicoli a basse e a zero emissioni. La nuova proposta stabilisce norme ambiziose, realistiche e applicabili per contribuire a garantire condizioni di parità fra i diversi soggetti del settore operanti in Europa. Il pacchetto definirà anche un chiaro orizzonte verso il quale avanzare per conseguire gli impegni presi nell'ambito dell'accordo di Parigi e incoraggerà sia l'innovazione nelle nuove tecnologie e nei modelli di business, sia un uso più efficiente di tutti i modi di

trasporto di merci. Queste iniziative saranno rafforzate dall'impiego di strumenti finanziari mirati in modo da garantirne un'agevole applicazione.

Il pacchetto mobilità pulita propone nuove norme in materia di emissioni di CO_2, che aiutino i fabbricanti a innovare e a proporre sul mercato veicoli a basse emissioni. La proposta prevede obiettivi sia per il 2025 sia per il 2030; l'obiettivo intermedio per il 2025 garantisce che gli investimenti comincino sin da ora, mentre l'obiettivo per il 2030 darà stabilità e un orizzonte a lungo termine che ne assicuri il mantenimento. Tali obiettivi incoraggiano la transizione dai veicoli convenzionali con motori a combustione interna a quelli puliti. Le emissioni medie di CO_2 delle autovetture nuove registrate nell'UE nel 2025 dovranno essere del 15% e nel 2030 del 30% in meno rispetto al 2021. Le emissioni medie di CO_2dei veicoli commerciali leggeri registrati nell'UE nel 2025 dovranno essere del 15% e nel 2030 del 30% in meno rispetto al 2021. Per aumentare l'impiego di vetture a zero o bassa emissione, la proposta include anche un meccanismo di incentivazione dedicato per tali veicoli. La proposta per una mobilità pulita sarà adesso inviata ai colegislatori.

Il bisogno d'infrastrutture

L'accettazione da parte del mercato di veicoli alimentati con combustibili alternativi dipende in larga misura dalla disponibilità di infrastrutture per i combustibili alternativi. La direttiva del 2014 denominata a volte DAFI (*Directive on the Deployment of Alternative FuelsInfrastructure*[8]*),* mira ad agevolare l'uso dei carburanti alternativi nei trasporti tramite la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi con delle scadenze ben precise come lo mostra questa tabella.

	Coverage	*Timings*
Electricity in urban/suburban and other densely populated areas	*Appropriate number of publically accessible points*	*by end 2020*
Electricity at shore-side	*Ports of the TEN-T core network and other ports*	*by end 2025*
CNG in urban/suburban and other densely populated areas	*Appropriate number of points*	*by end 2020*
CNG along the TEN-T core network	*Appropriate number of points*	*by end 2025*
LNG at maritime ports	*Ports of the TEN-T core network*	*by end 2025*
LNG at inland ports	*Ports of the TEN-T core network*	*by end 2030*
Hydrogen in the Member States who choose to develop it	*Appropriate number of points*	*by end 2025*

8 Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 307/1 del 28.10.2014

Questa direttiva rappresenta una pietra miliare nell'ambito delle soluzioni alternative all'egemonia dei prodotti petroliferi nel settore dei trasporti. Peraltro, la Commissione ha adottato iniziative supplementari e ha annunciato che continuerà ad adoperarsi per promuovere la rapida realizzazione delle infrastrutture necessarie, quali le stazioni di rifornimento e di ricarica, poiché la diffusione commerciale di tali veicoli dipende dall'introduzione simultanea di infrastrutture, veicoli e carburanti, segnatamente lungo la rete transeuropea di trasporto (TEN-T).

Da oggi al 2020, oltre 1200 punti di rifornimento di combustibili alternativi, soprattutto punti di ricarica elettrica, avranno ricevuto sovvenzioni nell'ambito del piano per collegare l'Europa. Circa sei milioni di punti di ricarica (2,8 milioni di punti di pre-cablaggio e tre milioni di punti di ricarica veri e propri) potrebbero essere installati negli edifici residenziali e non residenziali, se il Parlamento europeo e il Consiglio adottassero rapidamente la proposta della Commissione di revisione della direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia, che è ora in corso di negoziazione.

La realizzazione di una rete di punti di ricarica che copra in modo uniforme la rete stradale in tutta l'UE, nonché, per esempio, lo sviluppo di tecnologie e di dispositivi di stoccaggio dell'energia, come le batterie, rappresenta quindi un'altra condizione essenziale per una mobilità a zero emissioni.

Come richiesto dalla direttiva DAFI, gli Stati membri stanno elaborando i rispettivi quadri strategici nazionali per lo sviluppo del mercato dei veicoli e delle imbarcazioni alimentati a combustibili alternativi e la realizzazione delle relative infrastrutture. Gli Stati membri che ancora non l'hanno fatto dovrebbero trasmettere i loro programmi alla Commissione non appena possibile. La Commissione pubblicherà la sua valutazione dei quadri strategici nazionali prossimamente. In conformità a quest'analisi, in particolare l'aspetto chiave della realizzazione dell'infrastruttura sui corridoi della rete TEN di trasporto e nelle aree urbane, la Commissione cercherà di individuare i principali problemi e di proporre un piano d'azione per ovviare alle carenze del mercato che giustificano un'azione a livello dell'UE, con la partecipazione di tutte le parti interessate.

L'elettromobilità

La Commissione considera importante l'elettrificazione dei trasporti per superare la dipendenza dal petrolio e decarbonizzare il settore, soprattutto i trasporti stradali e ferroviari. Questo è il motivo per cui il veicolo elettrico è presentato come elemento chiave del miglioramento della qualità dell'aria nelle zone urbane. I vincoli di questa filiera sono noti. Il successo evidente di un'automobile come la Tesla S non deve illudere, perché il suo è un mercato di nicchia "alla californiana" con notevoli finanziamenti pubblici, mentre il settore industriale automobilistico è economicamente sostenibile unicamente con vendite massicce di uno stesso tipo di veicolo, sia per via della concorrenza aspra e globale che dei margini di profitto ridotti per unità di vendita. Affinché il veicolo elettrico possa emergere, occorre compiere ancora progressi importanti, in particolare per quanto riguarda la tenuta delle

batterie e il loro prezzo, la rete d'infrastrutture per la ricarica e le conseguenze importanti che questo avrà in materia di rete energetica intelligente. I programmi di ricerca dell'UE prevedono quindi finanziamenti di ricerca e sviluppo in questo settore.

Fin dall'inizio la Commissione ha sostenuto lo sviluppo delle batterie perché tecnologia abilitante fondamentale per l'elettromobilità e per conseguire gli obiettivi dell'Unione dell'energia. Quest'auspicabile sviluppo non sarà necessario soltanto per il settore dei trasporti ma anche per il settore della generazione elettrica da fonti rinnovabili; l'intermittenza dell'energia eolica e solare causa un pregiudizio notevole sul costo di gestione della rete elettrica (un motivo importante per cui aumenta "la bolletta della luce"), pregiudizio che aumenterà con lo sviluppo di produzioni elettriche più decentrate. Pertanto, è indispensabile sviluppare soluzioni economiche per stoccare ingente quantità di elettricità. Con le batterie attuali è impensabile. Lo stoccaggio dell'elettricità intermittente sarà possibile sia fisicamente sia economicamente soltanto se si scoprono delle rotture tecnologiche nel settore delle batterie. Dunque, questo giustifica la ricerca e sviluppo in quest'ambito per migliorare le prestazioni delle batterie (peso, dimensioni, gamma, durabilità, riciclabilità) e ridurne i costi. I fondi per la ricerca sono stati destinati alle diverse fasi della catena di valore della batteria, dai materiali (composizioni chimiche nuove o migliorate) alla fabbricazione di celle per batterie (nuove tecnologie di produzione e nuovi macchinari), di pacchetti di batterie e di sistemi di gestione delle batterie (ad es. elettronica di potenza, connettività con le automobili elettriche e con la rete energetica). La Commissione ha inoltre finanziato la realizzazione prima dell'immissione sul mercato e linee di produzione pilota. Tuttavia, anche se è competitiva in vari segmenti della catena del valore delle batterie, l'industria dell'UE non è ancora riuscita a sviluppare una catena del valore completa. Ad esempio, le celle di batterie sono ancora in gran parte importate da paesi terzi poiché non esiste una produzione di massa all'interno dell'UE. Dato il crescente interesse strategico per le batterie, la Commissione prevede di sostenere le iniziative promosse dall'industria per costituire una catena del valore completa nell'UE da utilizzare per applicazioni nel settore della mobilità e in altri settori (stoccaggio dell'energia). Per questo il Vice-presidente della Commissione europea e Commissario per l'Unione Energetica Maroš Šefčovic, ha lanciato in ottobre 2017 l'Alleanza europea delle batterie, un nuovo strumento di cooperazione fra i diversi attori del settore che sarà guidato dall'esecutivo UE attraverso finanziamenti e precisi traguardi da implementare. L'obiettivo è di non continuare a lasciare lo spazio libero alle imprese dell'Asia e degli Stati Uniti.

In ogni caso, dal punto di vita dell'ambiente globale, la soluzione del veicolo elettrico presenterà vantaggi, a suo tempo, solo se il parco elettrico sarà sostanzialmente basato sul nucleare o sulle energie rinnovabili. Chiaramente questa è una delle ragioni per cui la Francia è il paese dell'UE all'avanguardia in materia di veicoli elettrici.

Il ritorno del metano

Un'altra fonte alternativa nel settore dei trasporti è l'utilizzo del metano, una soluzione tutt'altro che nuova poiché, in particolare in Italia, è utilizzata da decenni sotto forma di gas naturale compresso (CNG). La novità di questi ultimi anni è la disponibilità crescente del gas metano. I paesi produttori si trovano in tutti i continenti con riserve sempre crescenti (e non soltanto dovuto al gas di roccia madre statunitense) e con meno problemi geopolitici9. L'altra enorme novità di questi ultimi anni è la liberazione dal monopolio dei gasdotti, cioè lo sviluppo del commercio mondiale del GNL – il gas naturale liquido – che è oramai diventato un elemento di stabilità e di assetto geopolitico. Questo gas liquido arriva in Europa da un numero crescente di paesi esportatori alcuni storici come l'Algeria, la Nigeria o il Qatar e altri più recenti come Stati Uniti o Australia. Presto arriveranno anche metaniere dalla Russia, dal Mozambico; forse anche da Israele. La rivoluzione in corso nel settore del gas[9] farà sì che questa fonte di energia abbondante, non cara e pulita, sarà sempre più utilizzata nel mondo e dunque anche nell'UE.

Un vantaggio fondamentale del GNL sul CNG è la densità del combustibile. Ciò consente di trasportare più energia nei serbatoi e permette un intervallo tra rifornimenti molto più lungo. I veicoli alimentati a GNL possono adesso percorrere 1 500 km senza la necessità di rifornimento. Questo raggio operativo più grande rende lo GNL una alternativa competitiva. Il CNG è utilizzato principalmente per la distribuzione urbana, i trasporti urbani e la raccolta di rifiuti, nonché per i veicoli privati.

L'uso del GNL nel trasporto pesante su strada e nel trasporto marittimo può ridurre le emissioni di diversi inquinanti[10] e, nel caso del trasporto per nave, può consentire al settore di rispettare i requisiti di riduzione del tenore di zolfo e azoto dei combustibili per uso marittimo utilizzati nelle zone di controllo delle emissioni. In entrambi i casi, l'uso dello GNL può ridurre le emissioni di gas serra. Il preciso impatto sull'ambiente dipenderà da una serie di fattori in differenti punti della catena di approvvigionamento dello GNL e dovrà essere valutato caso per caso.

LNG Blue Corridors

La Commissione Europea ha lanciato il progetto dimostrativo "LNG Blue Corridors"[11] finalizzato a migliorare la conoscenza e la consapevolezza del gas metano liquido quale carburante alternativo per il trasporto stradale a medio-lungo raggio. Il progetto prevedeva la realizzazione di stazioni di rifornimento di gas naturale liquido e compresso, lo sviluppo di flotte con camion alimentati a GNL per consentire viaggi di veicoli pesanti lungo i corridoi TEN-T europei.

9 Samuele Furfari, The Changing World of Energy and the Geopolitical Challenges (2volumi), CreateSpace, 2017.
10 Commissione Europea, Strategia dell'UE in materia di gas naturale liquefatto e stoccaggio del gas, COM (2016) 49 finale, 16.2.2016.
11 http://lngbc.eu/

Il numero di stazioni di servizio a GNL in Europa sta crescendo rapidamente. Alla metà del 2017, sulla rete corridoi blue GNL ci sono poco più di 100 stazioni in esercizio. In particolare, Paesi Bassi, Regno Unito, Spagna, Francia e Italia hanno sviluppato infrastrutture locali. Sono previste altre quaranta stazioni. Al momento di scrivere la flotta ha percorso 25,5 milioni di km e fatto 79.000 rifornimenti di GNL. Una conclusione s'impone: non c'è più niente da dimostrare. Il progetto che è sul punto di concludersi è un successo è dimostra che oggi esiste già una alternativa pulita ed economica immediata al diesel per il trasporto su strada per i mezzi pesanti.

Propulsione sostenibile.
Analisi critica di tendenze e alternative possibili per l'autotrazione – opportunità, ostacoli e prospettive delle varie soluzioni.

Carlo Beatrice[12]

Premessa

Il sistema dei trasporti a livello mondiale è in una fase di forte transizione, a causa della urgente necessità di ridurre le emissioni tossiche in aree urbane e la produzione di gas ad effetto serra, anidride carbonica in primis. L'accordo internazionale di Parigi (COP21), in cui si è stabilito di contenere, a partire dal 2020, l'aumento della temperatura media globale entro 2°C in più rispetto ai livelli preindustriali, richiede necessariamente l'attuazione di misure urgenti per una riduzione significativa e sistematica delle emissioni di CO_2. Allo stesso tempo, il continuo sforamento dei limiti di PM_{10} e $PM_{2.5}$ nelle aree urbane ad alta densità di popolazione richiede a sua volta un efficace controllo delle sorgenti mobili- che in molte città europee si è tradotto in limitazioni al traffico dei veicoli diesel e l'annuncio di messa al bando dei veicoli spinti da motori termici, prevalentemente diesel, nell'arco temporale di 15-20 anni.

La presente relazione intende fornire un'analisi critica sulle possibili traiettorie di sviluppo della mobilità stradale in ambito urbano ed extraurbano. Mettendo a confronto opportunità e barriere infrastrutturali e tecnologiche, verranno analizzate le tendenze di sviluppo del trasporto stradale in grado di rispondere all'esigenza di riduzione sia dei gas serra che delle emissioni tossiche in area urbana.

Introduzione

La mobilità delle persone e il trasporto di merci sono i bisogni fondamentali della società moderna. Qualsiasi approccio per soddisfare queste esigenze deve rispettare sia criteri di sostenibilità ambientale che di accettabilità da parte degli utenti. Di conseguenza, le soluzioni ed i servizi devono rispettare simultaneamente la sicurezza di approvvigionamento, l'efficienza energetica, la compatibilità ambientale e l'accessibilità da parte dei cittadini.

L'evoluzione del sistema trasporti avanzerà quindi sviluppando e combinando tecnologie dei sistemi di propulsione in stretto collegamento con l'evoluzione dello scenario energetico globale.

L'elettrificazione del propulsore, già in fase avanzata di implementazione, continuerà a progredire, mentre la necessità di aumentare la sicurezza energetica e di ridurre l'uso dei combustibili fossili e petroliferi spingerà ad un uso più ampio delle fonti energetiche

[12]Istituto Motori CNR, Napoli

rinnovabili. Questo processo verrà attuato a livello locale in base alla disponibilità di materie prime ed alle scelte politiche.

Le tendenze a lungo termine, dettate dall'evoluzione delle esigenze di mobilità personale e del trasporto delle merci, condizioneranno il portafoglio delle soluzioni disponibili sul mercato.

Prima di analizzare in modo critico le differenti soluzioni tecnologiche per la mobilità futura, è opportuno un approfondimento sullo scenario di riferimento, caratterizzato da una molteplicità di esigenze.

Evoluzione della urbanizzazione delle città

Gli studi sull'evoluzione della società indicano un aumento significativo della popolazione delle megalopoli e dei grandi agglomerati, rafforzando la richiesta di soluzioni per sistemi di mobilità "puliti", efficienti e fruibili (Figura 1). Questo fattore "pulito" sarà fornito non solo dai progressi tecnologici del veicolo, ma anche dall'ottimizzazione del loro utilizzo grazie al crescente ruolo della connettività e del "car sharing", che conducono alla cosiddetta "mobility on-demand". Allo stesso modo, il sistema di trasporto a lunga percorrenza beneficerà sia della connettività, che migliorerà le condizioni di guida automatizzate (in particolare sulle rotte intercontinentali e autostradali), sia di una diffusione più ampia di modelli intermodali[13].

Figura 1: *Evoluzione della popolazione dei centri urbani e rurali e andamento della domanda di mobilità urbana dal 2010 al 2050*

[13]Heinrich Dismon, KSPG's perspective of the future ICE's role in mobility. FEV Diesel powertrains 3.0 conference – Leipzif, 14th- 15th June 2016

Evoluzione della domanda di energia nel medio e lungo termine

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi di proiezione degli scenari di evoluzione del sistema di trasporto stradale e dei vettori energetici nel breve, medio e lungo termine, laddove per lungo termine si assume, nella maggior parte dei casi, il limite temporale del 2050. Tra tutti, è opportuno citare il rapporto prodotto nel 2016 dall'Unione Europea sulle previsioni di domanda di energia per tipologia di vettore per il solo settore dei trasporti. I risultati sono illustrati nel grafico in Figura 2[14]. Le previsioni indicano che il sistema dei trasporti sarà alimentato per oltre il 60% da combustibili di natura fossile, con una richiesta annua di circa 350-360 milioni di tonnellate di gasolio equivalente (Mtoe). Di conseguenza, anche il trasporto su gomma, che contribuisce nella misura del 23% alle emissioni globali di gas ad effetto serra[15], seppur in percentuale leggermente inferiore a quanto riportato in Figura 2, sarà largamente alimentato da combustibili fossili, prevalentemente gasolio e benzina, mentre il sistema elettrico coprirà circa il 4% del mercato globale. Al 2050, l'approvvigionamento di energia da combustibili fossili per il trasporto stradale (diesel e benzina) si attesterà intorno a 3,1 miliardi di MWh.

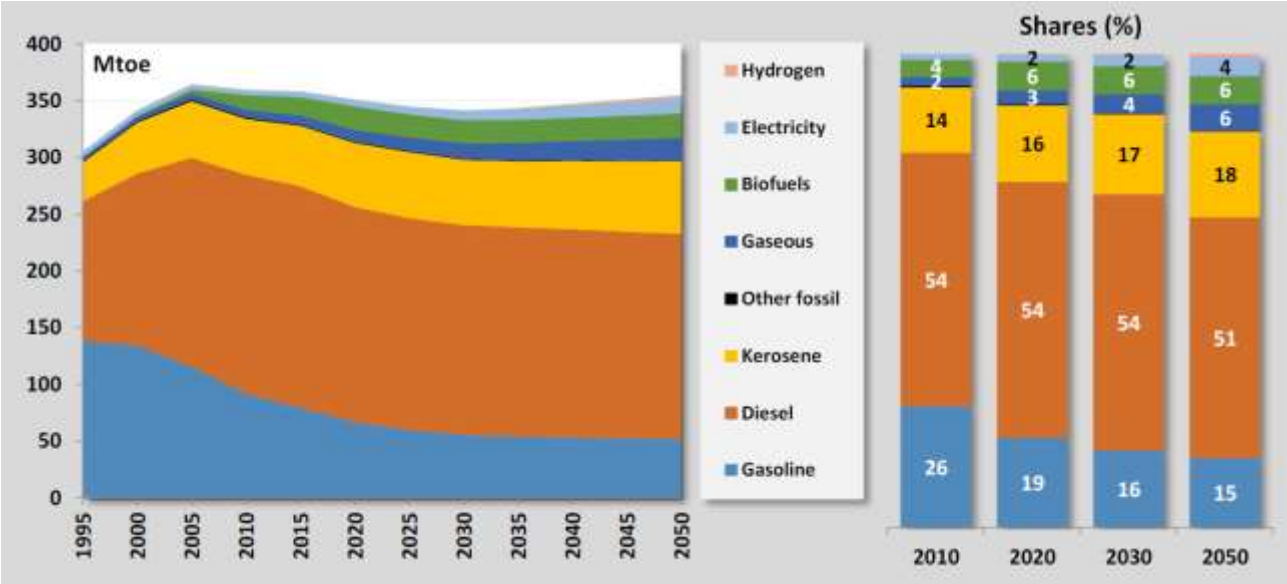


Figura 2: *Evoluzione della domanda di energia nel settore trasporti al 2050 in funzione della tipologia di vettore energetico.*

È facile quindi comprendere come non sia possibile sostituire tale aliquota nell'arco temporale di tre decadi. D'altra parte sussistono due leggi che regolano l'implementazione di tecnologie nel settore energetico[16]:

[14] EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. PDF ISBN 978-92-79-52374-8, doi: 10.2833/001137.
[15] European Commission, A European Strategy for low emission mobility. https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
[16] Gert Jan Kramer & Martin Haigh, No quick switch to low-carbon energy. Nature 462, 568-569(3 December 2009). doi:10.1038/462568a.

- 1° Legge. Le tecnologie energetiche innovative seguono una crescita esponenziale per qualche decennio, che nell'ultimo secolo si traduce in una crescita di un ordine di grandezza per decade (circa il 26% di crescita annua). Tale crescita resta di tipo esponenziale finché la fonte raggiunge una quota significativa sul mercato dell'energia, in genere circa l'1% dell'energia mondiale;
- 2° Legge. Una volta che la tecnologia è matura ed ha acquisito una fetta significativa di mercato, la sua crescita diventa lineare nel tempo. Tale andamento è stato già dimostrato per differenti tecnologie energetiche.

Quindi, anche in riferimento alle suddette leggi, le politiche ambientali dovranno svilupparsi tenendo conto di tali scenari.

Il budget di anidride carbonica disponibile

Il rispetto dell'accordo di Parigi sui cambiamenti climatici, ratificato nel 2016, richiede politiche nazionali ed europee urgenti, al fine di raggiungere l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura atmosferica globale di 2°C al 2100. Ciò presuppone una significativa riduzione delle emissioni globali di gas a effetto serra che dovrà coniugarsi con il corrispondente aumento delle necessità energetiche globali nel contesto di una crescita massiccia della popolazione mondiale. Se le emissioni di gas serra rimarranno ai livelli attuali, il bilancio globale di CO_2 disponibile per mantenere l'obiettivo dei 2°C sarà esaurito già nel 2030. La Figura 3 mostra appunto la tendenza di crescita della CO_2 tenendo conto delle emissioni globali attuali e delle corrispondenti riduzioni percentuali annue di emissione, al fine di avvicinare e traguardare l'obiettivo dei 2°C[17]. Si intuisce quindi che urgono sia cambiamenti dei modelli sociali che lo sviluppo di tecnologie energetiche efficienti, caratterizzate da un bilancio nullo del ciclo della CO_2 in atmosfera. La tendenza a medio termine (2030) ed a lungo termine (2050) dipenderà da diversi eventi, legati ad aspetti tecnici e politici, che conducono, da un lato, al progresso delle attuali tecnologie e, dall'altro, al decollo di nuove soluzioni. Ad esempio, per la sola Germania, il rispetto dell'obiettivo di Parigi implica una riduzione di circa il 40% delle emissioni di CO_2 dal settore trasporti già per il 2030; ed analoghe situazioni sono riscontrabili negli altri paesi europei.

[17] Le Quéré et al.: Global Carbon Budget 2016, Published on 14 November 2016. www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/16/files/GCP_CarbonBudget_2016.pdf Status: 10.1.2017

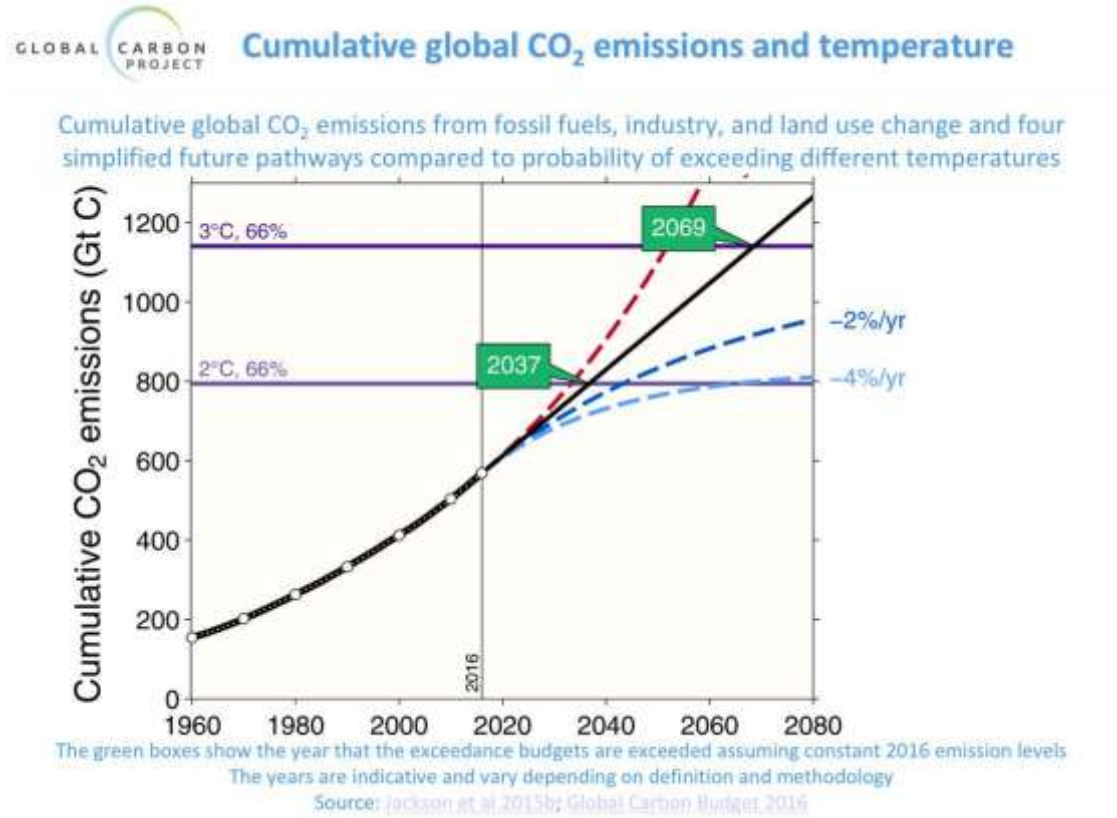


Figura 3: *Evoluzione delle emissioni cumulative globali di CO_2 in funzione delle decadi fino al 2080. La traccia rossa indica l'andamento della CO_2 senza interventi ambientali sulla base delle attuali emissioni. Le curve blu e celeste indicano la riduzione percentuale di CO_2 a partire dal 2020 rispettivamente per avvicinare e raggiungere l'obiettivo dei 2°C*

Il motore a combustione interna bandito dalle metropoli

Un possibile divieto dei motori termici alla circolazione in area urbana è stato preso in esame in diversi Stati a causa di vari fattori: la crescita delle tecnologie della mobilità elettrica, l'elevato livello di emissioni di ossidi di azoto da autoveicoli diesel (riscontrato nel corso di recenti scandali in USA ed Europa – "Dieselgate") e l'impatto della cattiva qualità dell'aria sulla salute dei cittadini a causa delle emissioni nocive.

Regno Unito, Germania, Francia, Olanda e Finlandia hanno già annunciato il divieto di circolazione dei veicoli mossi da motori a combustione interna tra il 2030 ed il 2040. Cina ed India hanno comunicato il passaggio all'elettrico, rispettivamente nella misura del 60% e 100% del parco circolante nel 2030, in chiaro contrasto con le stime del mercato energetico riportate nella sezione precedente.

Alla luce di quanto sopra riportato, quali soluzioni tecnologiche per la trazione stradale potrebbero allora soddisfare le molteplici esigenze descritte?

I propulsori del futuro

Nel settore della trazione stradale, sia per il trasporto passeggeri che per il trasporto commerciale, le tecnologie dei propulsori (e di seguito dei relativi vettori energetici)

dovranno soddisfare tre fondamentali requisiti: essere competitive nel mercato dell'energia in termini di costo e disponibilità di approvvigionamento, essere convenienti ed accessibili alla maggioranza degli utenti, essere pronte all'implementazione su larga scala. Premesso ciò, si analizzano di seguito potenzialità e criticità delle varie possibili soluzioni per il trasporto sostenibile, suddivise in trasporto passeggeri e commerciale.

Traporto passeggeri (Ligh Duty Vehicles)

L'evoluzione della tecnologia automobilistica vedrà una progressiva penetrazione sia di veicoli ibridi che elettrici, ma anche di motori termici più efficienti e puliti, alimentati con una percentuale crescente di combustibili alternativi e/o rinnovabili. Tale previsione si basa essenzialmente sul fatto che le tecnologie motoristiche saranno valutate, confrontate e scelte principalmente per il loro livello di emissione di CO_2, da considerarsi non solo nell'arco temporale del loro uso, ma in senso più ampio sull'intero ciclo di vita del veicolo, dalla produzione alla dismissione e riciclo.

Il fatto che il veicolo elettrico ha emissioni locali nulle è percepito come un grande vantaggio rispetto al motore a combustione interna convenzionale, ed è indubbiamente vero. Questo fattore non deve essere sottovalutato, soprattutto in riferimento agli obiettivi di riduzione dell'inquinamento nelle aree urbane. Tuttavia, per quanto riguarda le emissioni di CO_2, non vi è differenza se essa è prodotta da veicoli o da centrali elettriche. Inoltre, se l'elettricità è prodotta da fonti rinnovabili, l'emissione netta di CO_2 in atmosfera deriverà solo dal ciclo produttivo e di riciclo del veicolo stesso. Se però, come accade ora, l'energia di ricarica proviene per il 60% da centrali elettriche convenzionali (alimentate soprattutto da carbone), l'uso dei veicoli elettrici non porterà una riduzione dell'emissione globale di CO_2, e, con molta probabilità, l'aumento della domanda di energia elettrica comporterà il mantenimento delle centrali convenzionali per tempi più lunghi.

Oggi, tenendo conto del mix di fonti energetiche per la generazione di energia elettrica sul territorio europeo (Figura 4), un veicolo elettrico produce, su strada, un'emissione di CO_2 equivalente di circa 80 g/km, che è già inferiore al limite di 95 g/km imposto dalla UE per i modelli venduti a partire dal 2020[18]. Se però, il significativo innalzamento della domanda di energia elettrica porterà un incremento di produzione delle centrali convenzionali alimentate da combustibili fossili, il valore emissivo dello stesso veicolo potrà arrivare anche fino a 160 g/km, ben oltre gli obiettivi fissati per il controllo della temperatura globale.

[18] https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en

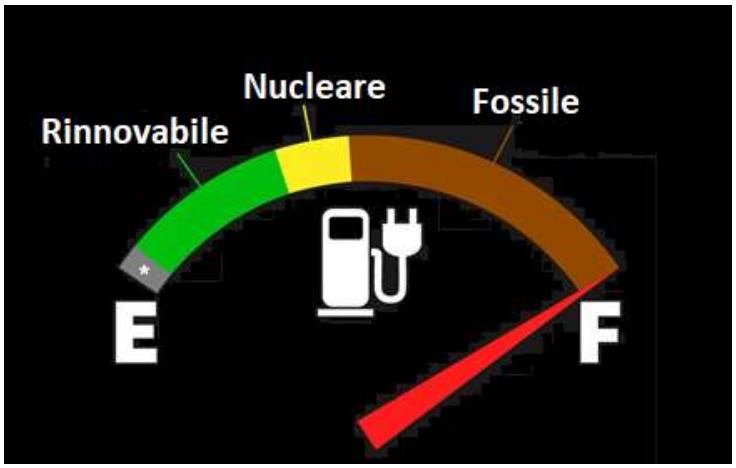


Figura 4: *Fonti energetiche per la produzione di energia elettrica in Europa*[19].

L'analisi dell'impatto della tipologia di veicolo sulle emissioni di CO_2 (ad esempio elettrico e termico) non si esaurisce con il confronto di quanto prodotto nel rispettivo ciclo di lavoro, ma deve necessariamente tenere conto dell'emissione sull'intero ciclo di vita, includendo anche quella della filiera produttiva e quella legata alla dismissione e riciclo. La Figura 5 mostra tale confronto, paragonando diverse motorizzazioni di una Volkswagen Golf con una percorrenza annua di 15,000 km ed una totale di 200,000 km, ovvero con motore totalmente elettrico, con motore a metano (*Compressed Natural Gas – CNG*) di differente derivazione (fossile, rinnovabile – *biomethane*, e prodotto da energia elettrica per dissociazione della CO_2 - *Audi e-gas*), diesel e benzina (*gasoline*)[20].

Si osserva come l'emissione globale del veicolo elettrico è fortemente dipendente dalla modalità di produzione dell'energia, e che, ad esempio, un veicolo elettrico in Cina produce più CO_2 di un motore a benzina europeo. È altrettanto importante notare che un veicolo mosso da motore a gas naturale di origine fossile ha emissioni di CO_2 leggermente superiori a quelle di un veicolo elettrico attuale, mentre se lo stesso veicolo con motore a gas è alimentato con biometano, il bilancio globale diventa inferiore al veicolo elettrico.

È interessante infine notare come la produzione di CO_2 associata al ciclo produttivo di un veicolo con motore a combustione interna convenzionale è poco meno della metà di quella di un veicolo elettrico, ed in quest'ultimo caso un contributo rilevante è legato alla produzione e riciclo della batteria, fattore importante anche nella definizione del costo del veicolo.

Alla luce di quanto osservato, è dunque facile dedurre che, una svolta immediata verso una mobilità puramente elettrica in tutti i settori del trasporto su gomma comporterebbe, nel breve termine, un ulteriore allontanamento delle politiche energetiche dall'obiettivo sancito dall'accordo di Parigi.

---

[19] Bundesministeriumfür Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BUMB): Klimaschutzplan 2050. KlimaschutzpolitischeGrundsätze und Ziele der Bundesregierung. 11/2016, URL: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf

[20] Möhring L., Andersen J., CNG Mobility – Scalable, Affordable and Readily Available Solution for Environmental and Climate Challenges. Internationales Wiener Motorensymposium 2017.

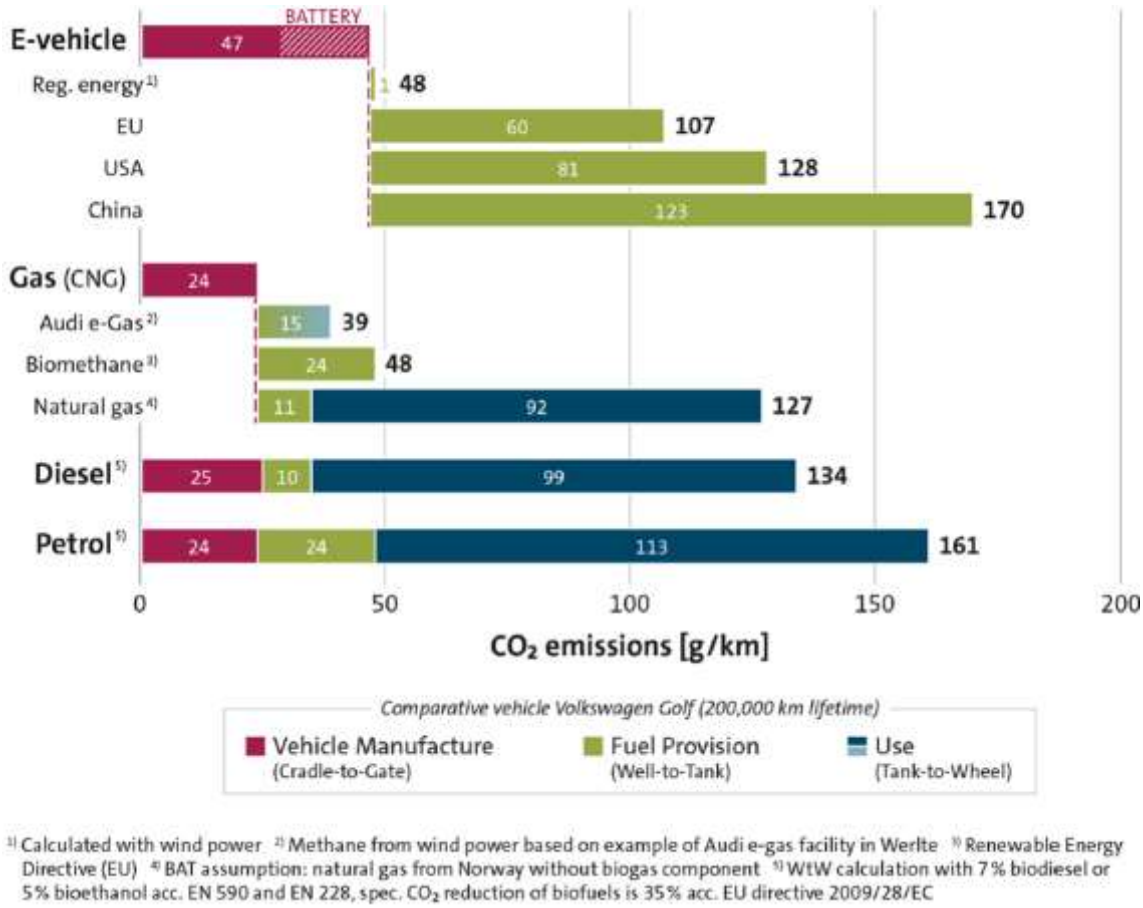


Figura 5: *Emissioni di CO_2 sul ciclo di vita di un veicolo elettrico (E-vehicle), a gas naturale compresso (CNG), a benzina (petrol) e diesel tenendo conto della produzione, utilizzo, rottamazione e riciclo delle materie*[21].

D'altra parte, è lecito supporre che nel giro di una decina di anni il confronto e la scelta tra le diverse tipologie di trazione saranno principalmente dettati dal loro livello di emissione di gas serra. Infatti l'impatto ambientale, in termini di inquinanti tossici, da motori a combustione interna sarà ulteriormente ridotto fino a diventare un problema marginale rispetto al controllo della CO_2.

Tale considerazione appare realistica soprattutto alla luce delle risposte dello sviluppo tecnologico ai recenti scandali sulle emissioni di NOx dei motori diesel ed anche grazie all'introduzione della nuova normativa sui limiti degli inquinanti in uso reale del veicolo (*Real DrivingEmissions – RDE*). Quest'ultima prevede infatti il rispetto delle limitazioni alle emissioni inquinanti nelle effettive condizioni di impiego su strada dei veicoli e per una percorrenza del veicolo di 300,000 km[22]. La successiva Figura 6 mostra le emissioni di ossidi di azoto in uso reale su strada per veicoli diesel e benzina e per le diverse classi emissive regolamentate, fino alla classe Euro 6d prevista per il 2021[23]. Si può notare come

[21]Bundesministeriumfür Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BUMB): Klimaschutzplan 2050. KlimaschutzpolitischeGrundsätze und Ziele der Bundesregierung. 11/2016, URL: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf
[22]https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/initiatives/c-2017-3720_en
[23]Josh Miller and Vicente Franco, Impact of improved regulation of real-world NOx emissions from diesel passenger cars in the EU, 2015–2030. ICCT White paper. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_real-world-NOX-RDE-2015-2030_dec2016.pdf.

l'applicazione corretta delle norme attraverso il controllo sul parco circolante annullerà le discrepanze tra emissioni misurate in fase di omologazione e su strada. Inoltre i veicoli diesel daranno luogo ad emissioni solo leggermente superiori a quelli a benzina o a gas. A quel punto, l'effettivo impatto ambientale delle motorizzazioni convenzionali sarà praticamente quasi nullo.

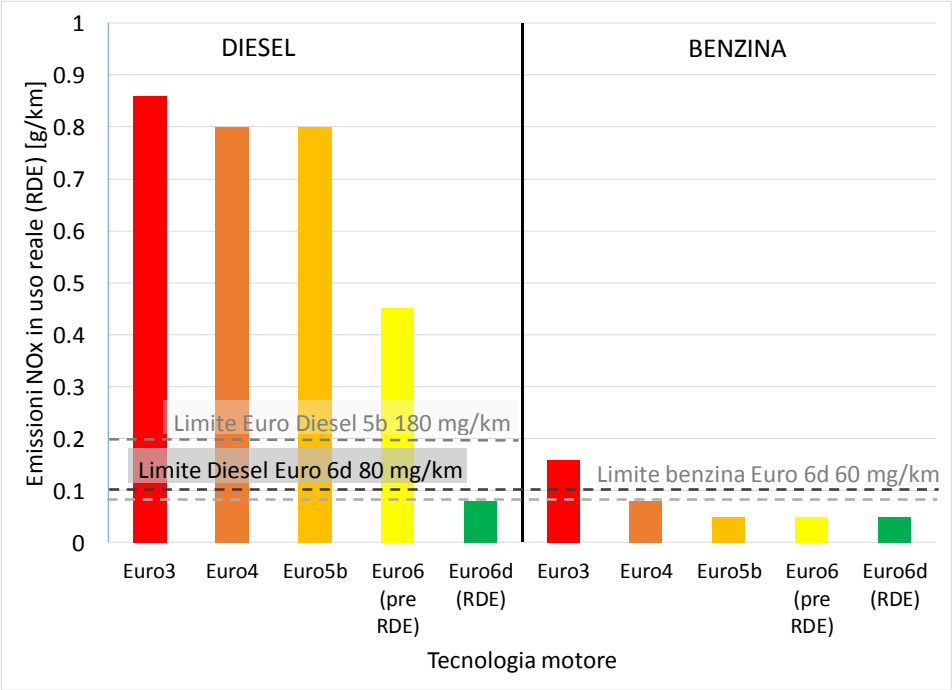


Figura 6: *Emissioni di NOx in uso reale di veicoli diesel e benzina di differente tecnologia*

Ovviamente non è da intendersi che nel 2021 l'emissione media di tutti veicoli sarà sotto i 60 mg/km per i veicoli a benzina e sotto gli 80 mg/km per i diesel, ma la l'emissione globale di NOx sarà progressivamente ridotta nel tempo in funzione della velocità di ricambio del parco circolante. La successiva Figura 7 mette in evidenza tale processo, illustrando l'emissione media di NOx negli anni da parte della flotta di veicoli europea. L'emissione di NOx è espressa come fattore moltiplicativo rispetto al limite Euro 6d degli 80 mg/km. Le varie curve corrispondono a differenti scenari di ricambio del parco circolante, che vedrà la progressiva scomparsa dalle strade di veicoli Euro3, Euro4 e poi Euro5, e la penetrazione di veicoli Euro6 ed elettrici[24]. Pertanto, ponendo l'attenzione sulla forchetta di livello di emissione tra lo scenario peggiore e quello migliore (3.4 contro 1.4 volte il limite Euro 6), si può prevedere che nel 2030 non si arriverà ad un valore medio di emissione sotto il limite imposto (80 mg/km), però l'evoluzione del mercato, l'efficacia nei controlli per il rispetto delle normative ed eventuali politiche di incentivazione dell'ammodernamento del parco giocheranno un ruolo rilevante in tal senso. In tal caso, potrà essere perseguito un processo di abbassamento delle emissioni più rapido, paragonabile allo scenario più favorevole, con fattore di emissione di 1.4 volte più elevato del limite Euro6d.

[24] Ibidem

Comunque è opportuno aggiungere che le tecnologie di controllo emissioni più innovative, tuttora in fase di sviluppo, hanno già dimostrato la capacità di ridurre gli NOx al di sotto del limite regolamentare imposto dalla normativa RDE, prospettando la possibilità nel prossimo futuro di abbassare ulteriormente il limite degli 80 mg/km[25].

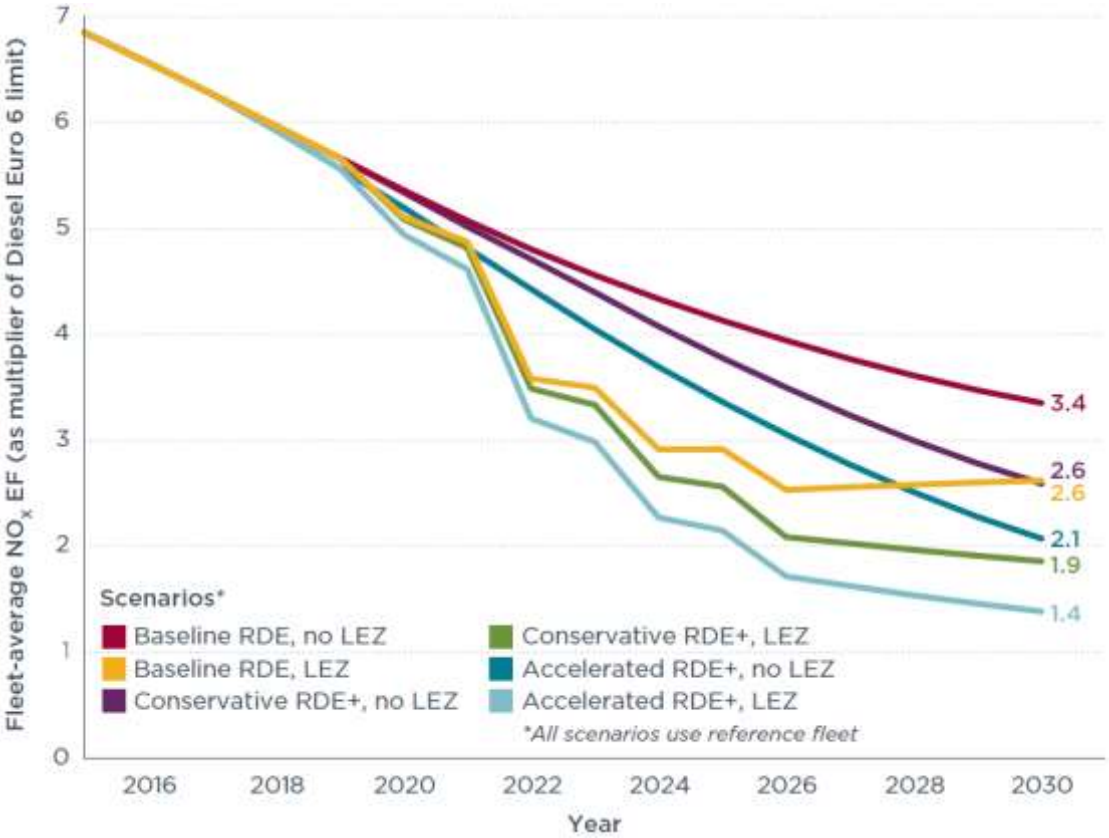


Figura 7: *Previsione di emissioni medie di NOx in uso reale della flotta di veicoli circolanti in Europa per diversi scenari di implementazione della regolamentazione RDE e di rinnovo del parco circolante[26].*

Anche per quanto riguarda le emissioni di particelle, che contribuiscono all'inquinamento urbano da particolato fine ed ultra fine, denominato rispettivamente con le sigle PM_{10} e $PM_{2.5}$, le ultime generazioni di veicoli (diesel e benzina) hanno raggiunto livelli di emissione estremamente bassi grazie all'adozione dei filtri anti particolato (FAP). Mentre per i motori a benzina questa tecnologia è applicata solo per i veicoli commercializzati a partire dal 2017, tutte le auto diesel a partire dal 2010 (Euro 5) sono equipaggiate con FAP. Proprio per i motori diesel, la tecnologia FAP ha raggiunto livelli di filtrazione estremamente elevati, con efficienze sempre al di sopra del 99%. Misure effettuate nei laboratori dell'Istituto Motori del CNR, e di altri centri di ricerca internazionali, hanno rilevato che i livelli di concentrazione di particelle in uscita dal FAP sono inferiori alla concentrazione media presente in atmosfera in area urbana. L'utilizzo del FAP permette quindi di abbassare l'emissione di particelle solide di

[25] M. Weißbäck, R. Dreisbach, B. Enzi, M. Grubmüller, K. Hadl, S. Krapf, W. Schöffmann, Diesel – Quo Vadis. 38. Internationales Wiener Motorensymposium 2017

[26] Josh Miller and Vicente Franco, Impact of improved regulation of real-world NOx emissions from diesel passenger cars in the EU, 2015–2030. ICCT White paper.

qualunque dimensione a valori notevolmente inferiori a tutte le altre motorizzazioni. La Figura 8 mette chiaramente in mostra l'efficacia di questa tecnologia per i motori diesel, evidenziando che un motore dotato di FAP non solo produce emissioni ben sotto il limite normativo dell'Euro 6, ma ha prestazioni paragonabili o migliori dei motori alimentati a gas naturale (CNG)[27].

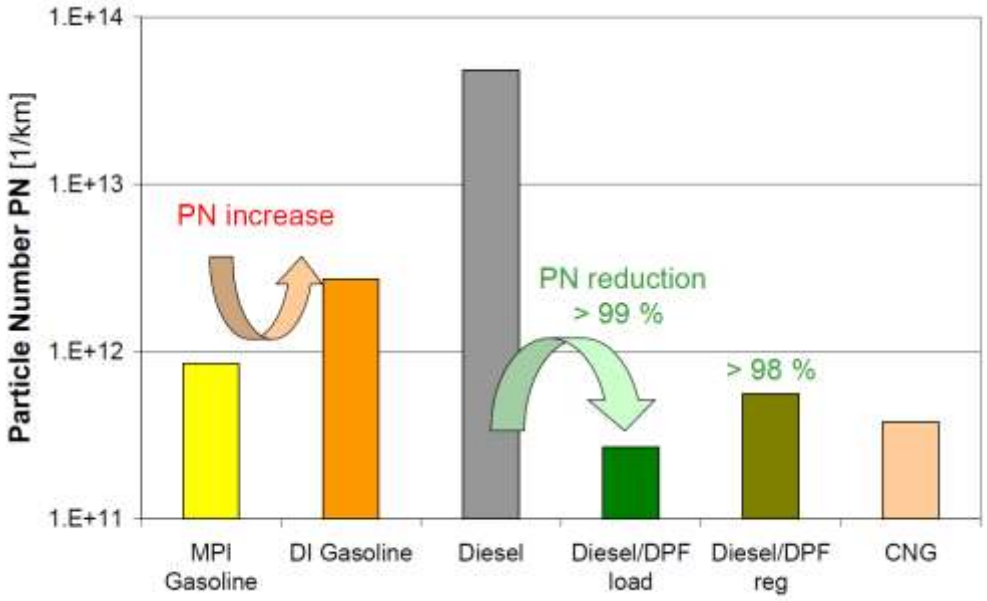


Figura 8: *Confronto tra emissioni di particelle su ciclo di prova NEDC per diverse motorizzazioni, rispettivamente da sinistra a destra benzina con iniezione nel collettore, benzina iniezione diretta, Diesel senza FAP, Diesel con FAP in fase di accumulo, Diesel con FAP in fase di rigenerazione, gas naturale ad accensione comandata*[28].

La problematica delle emissioni particellari non è solo ad appannaggio dei motori termici, se la tipologia di particelle considerate non si restringe a quelle prodotte dalla combustione. Per i motori convenzionali dotati di FAP, il livello emissivo di particelle generate dalla combustione è paragonabile o inferiore rispetto a quello delle particelle prodotte dall'attrito dei pneumatici sul manto stradale e dei freni durante le fasi di rallentamento[29]. Secondo un recente studio olandese, nel caso di veicoli elettrici, a parità di dimensione del veicolo e potenza del motore, la motorizzazione pesa in media circa il 24% in più di quella con motore convenzionale, aumentando il livello di particelle prodotte dall'abrasione dei pneumatici e portandolo ad un livello paragonabile a quello di un motore convenzionale a combustione interna dotato di FAP[30].

Alla luce di quanto sopra riportato, si può quindi meglio comprendere come negli anni avvenire, con l'ulteriore progresso della tecnologia dei motori (sia termici che elettrici), il

[27]Ulrich A. et al., *Particle and metal emissions of diesel and gasoline engines. Are particle filters appropriate measures?*. ETH Conference on nanoparticles 2012
[28] Ibidem
[29]Theodoros Grigoratos and Giorgio Martini, *Non-exhaust traffic related emissions. Brake and tyre wear PM*. JRC report 2014. JRC89231, EUR 26648 EN, ISBN 978-92-79-38302-1. doi:10.2790/21481
[30]Victor R.J.H. Timmers, Peter A.J. Achten, *Non-exhaust PM emissions from electric vehicles*, In Atmospheric Environment, Volume 134, 2016, Pages 10-17, ISSN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017

principale parametro di confronto per la sostenibilità ambientale sarà l'emissione di gas serra (CO_2). In tale ottica, l'utilizzo di gas naturale come vettore energetico alternativo al petrolio, per il quale l'Italia possiede il maggior mercato europeo sia in termini di autoveicoli circolanti (circa 1 milione) che di stazioni di rifornimento (circa 1000), rappresenta un'opportunità fondamentale per raggiungere gli obiettivi di riduzione della CO_2 e dell'inquinamento in area urbana. Infatti, se i vantaggi dell'utilizzo del gas naturale sulle emissioni tossiche sono alquanto noti alla maggioranza degli automobilisti, non è peraltro noto il suo potenziale nella riduzione delle emissioni di gas serra, che solo in parte è già illustrato nella precedente Figura 5. Riferendosi alla stessa analisi della Figura 5, tenendo conto del contributo alle emissioni di CO_2 derivante dalla produzione e dismissione del veicolo elettrico rispetto ad un corrispondente veicolo a gas di pari categoria (VW Golf con 15,000 km/anno di percorrenza media), la Figura 9 mostra l'andamento di emissione di CO_2 nel tempo per i due veicoli per diverse tipologie di produzione dell'energia elettrica e del gas naturale[31].

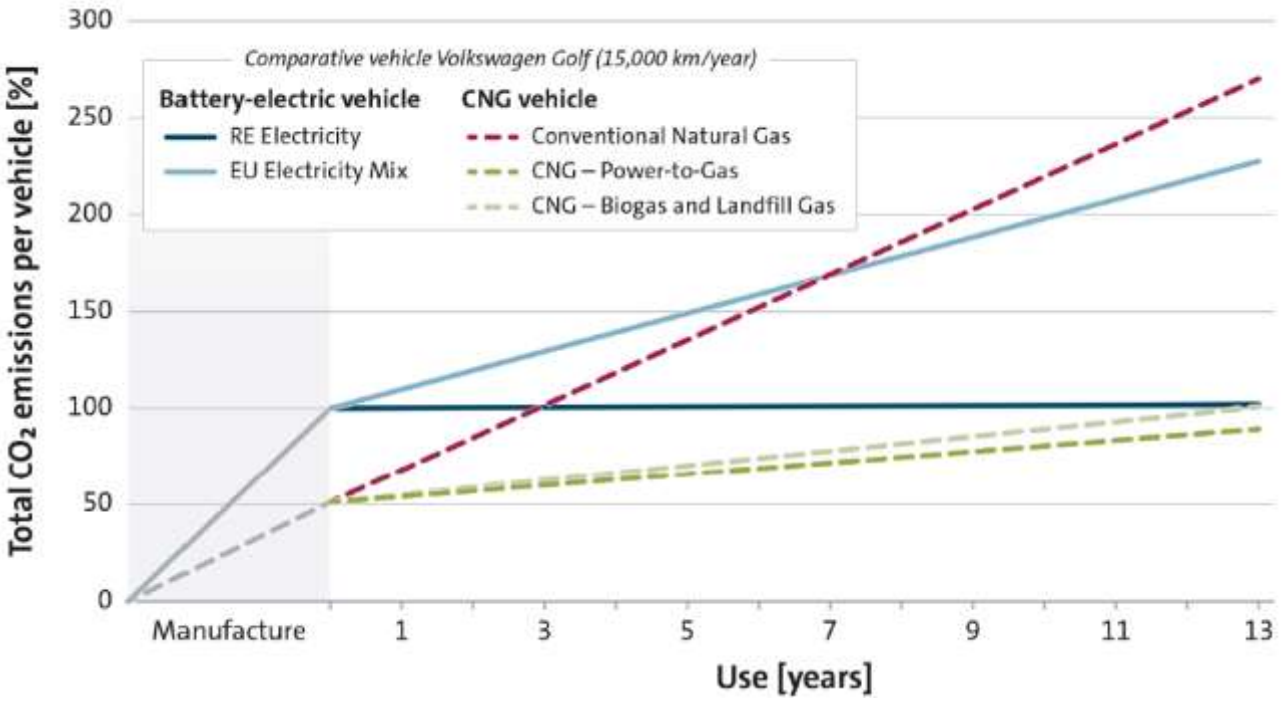


Figura 9: *Emissione totale di CO_2 per un veicolo con motorizzazione elettrica ed a gas naturale. RE Electricity=energua elettrica totalmente rinnovabile, EU Electricity Mix=energia elettrica prodotta con l'attuale sistema elettrico europeo, CNG-Biogas=gas naturale prodotto da biomassa e da discarica, CNG-Power-to-gas=gas naturale prodotto da CO_2.*

Si osserva che, imposto 100 il valore di emissione di CO_2 per la produzione e riciclo del veicolo elettrico, il corrispondente valore per il veicolo a gas è ridotto del 50%. Se il veicolo elettrico è alimentato con elettricità prodotta dall'attuale sistema europeo e il veicolo con motore termico è alimentato con gas naturale di origine fossile, il vantaggio sulla CO_2 per il primo è ottenibile solo a partire dal settimo anno (punto di incrocio tra la linea azzurra e fucsia). In caso di utilizzo di elettricità da fonti totalmente rinnovabili, il punto di incrocio si riduce al

[31]Möhring L., Andersen J., *CNG Mobility – Scalable, Affordable and Readily Available Solution for Environmental and Climate Challenges*. Internationales Wiener Motorensymposium 2017.

terzo anno. Se però al posto del gas naturale fossile si utilizzasse biometano o gas prodotto da CO_2 (power-to-gas), il punto di incrocio si sposterebbe a circa tredici anni, ovvero ben oltre il periodo di possesso medio di un'autovettura nel mercato europeo.

Queste considerazioni fanno ben capire la potenzialità del gas naturale e del biogas quale vettore energetico a basso impatto ambientale, soprattutto se si tiene conto dell'infrastruttura di distribuzione già esistente ed in continua espansione, a cui si associa poi il vantaggio competitivo del gas in termini di costo (attualmente circa 48% in meno della benzina e 31% in meno del gasolio).

Altrettanto strategico è l'uso di combustibili rinnovabili adatti alle motorizzazioni benzina e diesel. Processi di produzione di combustibili rinnovabili che utilizzano materie di riciclo anziché olii vegetali sono oramai tecnologie mature per l'industrializzazione, si prenda come esempio la produzione di gasolio ottenuto con idrogenazione di olii vegetali (HidrotreatedVegetableOil – HVO), già commercializzato in Europa (soprattutto paesi scandinavi e Italia), il quale non richiede nessuna variazione né per il motore, né per l'infrastruttura della distribuzione. In Italia è già presente un impianto di produzione da 300'000 tonnellate/anno ed un altro, da 700'000 tonnellate/anno, sarà attivo nel 2018[32]. Secondo le stime del Joint Research Europe (JRC), se usato puro l'HVO ha un potenziale di riduzione di CO_2 dalla produzione all'utilizzo nei veicoli di circa il 70%[33]. Allo stato attuale è commercializzata una miscela con 15% di HVO (prodotto con olii vegetali) e 85% di gasolio assicurando un risparmio di emissione di CO_2 di circa il 6%, di cui circa il 4.5% dovuto all'utilizzo di un combustibile rinnovabile con minore contenuto di carbonio e l'1.5% per la riduzione di consumo di combustibile legata al maggior contenuto energetico dello stesso e ad un miglioramento dell'efficienza del motore[34]. Un'ulteriore crescita di questa filiera permetterebbe di dare un contributo significativo agli obiettivi europei di riduzione della CO_2. Difatti, un recente studio ha stimato un potenziale di riduzione di CO_2 al 2030 paria circa 34 milioni di tonnellate/anno con una penetrazione nel mercato europeo dei biocombustibili di nuova generazione (per motori a benzina e diesel) di circa il 12%[35].

Tuttavia, l'enorme potenziale della mobilità elettrica nella riduzione dell'impatto ambientale in area urbana non è da sottovalutare, anzi dovrebbe essere assolutamente incentivato al fine di accelerare il ricambio di veicoli di piccola e media taglia (inclusi i motocicli), il cui

[32]https://www.enistation.com/assets/allegati/Link%20Focus%20su%20Green%20Diesel.pdf?version=20170913

[33]JEC WTW Study Version 4. *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. ISBN 978-92-79-31195-6, ISSN 1831-9424, doi:10.2788/4040.
http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu.about-jec/files/documents/report_2013/ttw_report_v4_july_2013_final.pdf

[34]Napolitano, P., Beatrice, C., Guido, C., Del Giacomo, N. et al., "Hydrocracked Fossil Oil and Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) Effects on Combustion and Emissions Performance of "Torque-Controlled" Diesel Engines," SAE Technical Paper 2015-24-2497, 2015,
https://doi.org/10.4271/2015-24-2497

[35] Ntziachristos L., et al., *Potential of combined vehicle technology, fuel and ICT measures in reducing CO_2 emissions from road transport by 2030*. Earpa 2016 publication.
https://www.earpa.eu/ENGINE/FILES/EARPA/WEBSITE/UPLOAD/FILE/papers/1002_earpa2016_impact_of_fuels_and_ict_on_CO_2_full_paper_v20160826.pdf

contributo all'inquinamento urbano in termini di nano particolato sembra tutt'altro che trascurabile[36].

È innegabile che il processo di graduale elettrificazione del trasporto stradale sia ormai avviato e risulterà più o meno veloce a seconda di vari fattori. I più importanti riguardano la disponibilità dell'infrastruttura di ricarica veloce, il costo del veicolo e la sua autonomia di marcia, che è direttamente legata alla densità di carica energetica del pacco batteria. Quest'ultimo aspetto è probabilmente il più importante tra i fattori limitanti la penetrazione della trazione elettrica nel mercato automobilistico, che oggi si attesta intorno all'1-1.5%,con un picco del 30% per la sola Norvegia[37]. La Figura 10 mostra infatti la scala di capacità energetica per tipologia di fonte energetica.

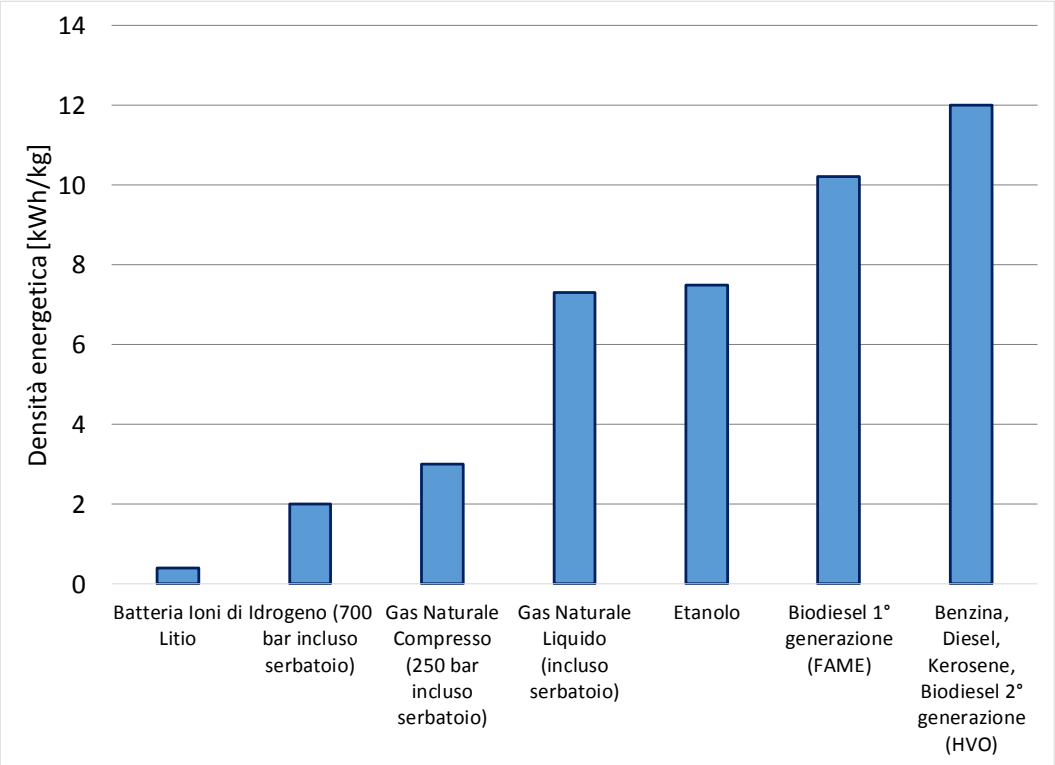


Figura 10: *Densità energetica per tipologia di vettore*[38]

Si osserva che la batteria a ioni di Litio, che rappresenta lo stato dell'arte della tecnologia di stoccaggio di energia per la mobilità elettrica, ha una densità energetica inferiore di oltre un ordine di grandezza rispetto alle fonti convenzionali. Al contrario, l'impiego di idrogeno (H_2) per la mobilità elettrica basata su celle a combustibile, sebbene necessiti dello sviluppo di un'adeguata infrastruttura di distribuzione, ha una capacità di stoccaggio del 500% in più rispetto alle batterie. Entrambi i vettori possiedono comunque densità energetiche notevolmente più basse di quella del gas naturale liquido e degli altri combustibili liquidi.

[36]Giechaskiel, B., Zardini, A., and Martini, G., "Particle Emission Measurements from L-Category Vehicles," SAE Int. J. Engines 8(5):2322-2337, 2015, https://doi.org/10.4271/2015-24-2512
[37]http://www.acea.be/statistics/article/interactive-map-correlation-between-uptake-of-electric-cars-and-gdp-in-EU
[38]Neville Jackson, *Future Propulsion System: A Feasible route to 80% reduction in road transport GHG emissions*. Transport group workshop of the Oil and Gas Climate Initiative, Londra, 9Ottobre 2017. http://www.oilandgasclimateinitiative.com/

Questo spiega perché, anche tenendo conto della minor efficienza energetica dei motori a combustione rispetto a quelli elettrici, i primi garantiscono un'autonomia di marcia decisamente maggiore.

Lo scenario potrebbe cambiare in caso di future tecnologie rivoluzionarie che aumentino la capacità di carica delle batterie, che ad ogni modo sono in rapido sviluppo. Le stime di crescita della filiera delle batterie al Litio indicano un aumento del 521% tra il 2017 ed il 2020, sul principio delle economie di scala, dovrebbe ridurre notevolmente il costo al kWh. È però necessario anche sottolineare due aspetti, che ogni strategia energetica per la mobilità sostenibile dovrebbe attentamente valutare: il 53% del costo della cella elementare costituente la batteria è pari a quello del materiale di cui è composto il catodo (Nickel, Cobalto ed Alluminio), mentre il sale di Litio ne costituisce circa il 9%. La disponibilità di tali materie prime potrebbe influenzare gli scenari del mercato energetico: secondo le stime riportate da Ricardo, per una penetrazione del 30% di auto elettriche sul mercato saranno necessarie oltre 12 Gigafactories (la gigantesca fabbrica di batterie in costruzione nel deserto del Nevada-USA da parte di Tesla); inoltre, i siti produttori di batterie sono localizzati in Cina, USA, Corea e Polonia, di cui la Cina detiene il 62% e la Polonia solo il 3%[39]. La Figura 11 illustra bene sia la suddivisione del costo della cella della batteria, sia la distribuzione mondiale delle aziende produttrici di batterie.

Dovranno essere dunque attentamente valutati sia gli aspetti legati alla disponibilità di questo vettore energetico che quelli legati all'impatto ambientale in termini di emissioni di gas serra e sostanze inquinanti.

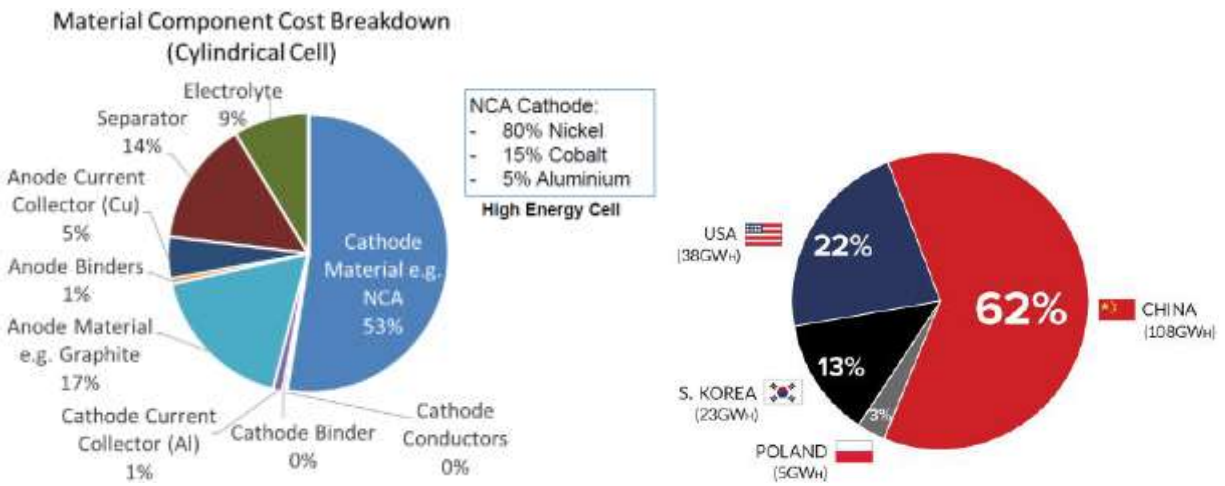


Figura 11: *Suddivisione del costo della cella della batteria (a sinistra), distribuzione mondiale delle aziende produttrici di batterie (a destra)*[40].

Al di là degli scenari futuri sul costo e disponibilità delle batterie, è già in atto una forte espansione della mobilità elettrica nell'ambito del trasporto urbano, dal momento che i veicoli di piccola taglia e i motocicli sono caratterizzati da pesi e percorrenze giornaliere ben

[39] Ibidem
[40] Ibidem

compatibili con le potenze e l'autonomia di un propulsore elettrico. Tale espansione è destinata a crescere ulteriormente nel medio lungo termine fino a far divenire la propulsione elettrica la stragrande maggioranza nella mobilità urbana, e ciò grazie al continuo miglioramento della capacità di carica delle batterie, delle performance del veicolo e della tecnologia di ricarica. A titolo di esempio, la Figura 12 mostra gli incrementi, in termini di potenza ed autonomia di marcia, per una tipica vettura medio-piccola adatta all'uso urbano, insieme ai principali componenti oggetto di ricerca e sviluppo da parte delle case automobilistiche[41].

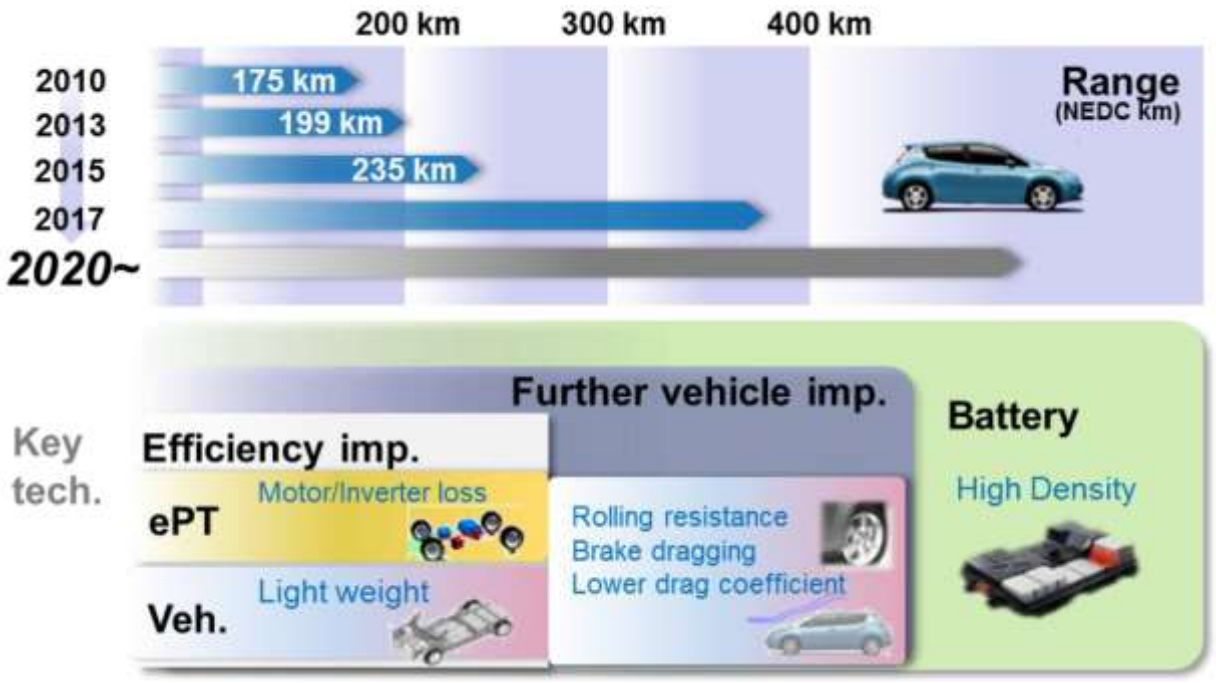


Figura 12: *Incremento dell'autonomia di marcia di un veicolo elettrico medio-piccolo dal 2010 al 2020 e principali componenti del veicolo oggetto di ricerca e sviluppo per il miglioramento delle prestazioni.*

Si può osservare che dai primi modelli del 2010 ad oggi, l'autonomia è circa raddoppiata, mentre per il 2020 si prevede di raggiungere un range di oltre 500 km con una carica. Inoltre, tutti i componenti del veicolo sono oggetto di studi per migliorarne le prestazioni, in primis, come detto, la capacità di carica della batteria a parità di volume, la riduzione degli attriti e delle perdite passive e, non meno importante, la riduzione di peso del veicolo.

Tenendo conto delle considerazioni sin qui fatte in termini di emissioni di CO_2 da veicoli elettrici e a combustione interna, una configurazione di sistema propulsivo per il settore automotive, che rappresenterà probabilmente la maggioranza del mercato nel medio/lungo termine, è quella ibrida nelle sue diverse declinazioni: ibrido light, mild e strong, ed ancora parallelo e serie, a seconda rispettivamente del rapporto tra potenza del motore elettrico e termico (man mano che la potenza elettrica aumenta la classificazione passa da light a mild e a strong), e della architettura del collegamento tra motori e ruote (nel parallelo il motore

[41]Toshihiro Hirai, Strategic Future: Powertrain Vision for Tomorrow. 38° Internationales Wiener Motorensymposium 2017

termico è sempre collegato alle ruote, in quello serie esso può essere scollegato e le ruote sono spinte solo dal motore elettrico).

L'efficacia del sistema ibrido nella riduzione di CO_2 dipende dalla modalità di funzionamento del motore termico, per il quale la massima efficienza di conversione dell'energia del combustibile in energia meccanica alle ruote (pari a circa 41% per il Diesel e 38-39% per il benzina) è ottenuta solo in una zona limitata del suo campo di utilizzo durante la marcia del veicolo. In particolari condizioni, ad esempio nella marcia a bassa velocità, nella partenza del veicolo, o nelle condizioni di forte accelerazione, l'efficienza globale è ben inferiore a quella massima. Attraverso l'ibridizzazione del motore termico, il motore elettrico può "aiutare" quello termico nelle condizioni più critiche dal punto di vista dell'efficienza e delle emissioni: o operando simultaneamente per ridurre il carico di lavoro di quello termico, o disattivando quest'ultimo, ad esempio in condizioni di marcia in aree urbane.

Attualmente la maggioranza dei veicoli ibridi adotta configurazione di ibrido parallelo a basso rapporto di potenza tra elettrico e termico (ibrido-light), tuttavia nel prossimo futuro, e soprattutto nel lungo termine, si assisterà ad una significativa penetrazione nel mercato di veicoli mild e strong. Questa tendenza riguarderà prevalentemente veicoli di piccola e media taglia. La rinomata società inglese di ingegneria Ricardo ha effettuato un confronto tra i vari studi di previsione di mercato dei veicoli elettrici ed ibridi degli ultimi anni, anche tenendo conto degli effetti del Dieselgate, prevedendo una penetrazione di tali veicoli di almeno il 30-40% per il 2030. La successiva Figura 13 mostra in versione grafica l'analisi descritta insieme alle previsioni dei vari studi condotti negli ultimi anni da parte delle principali organizzazioni del settore[42].

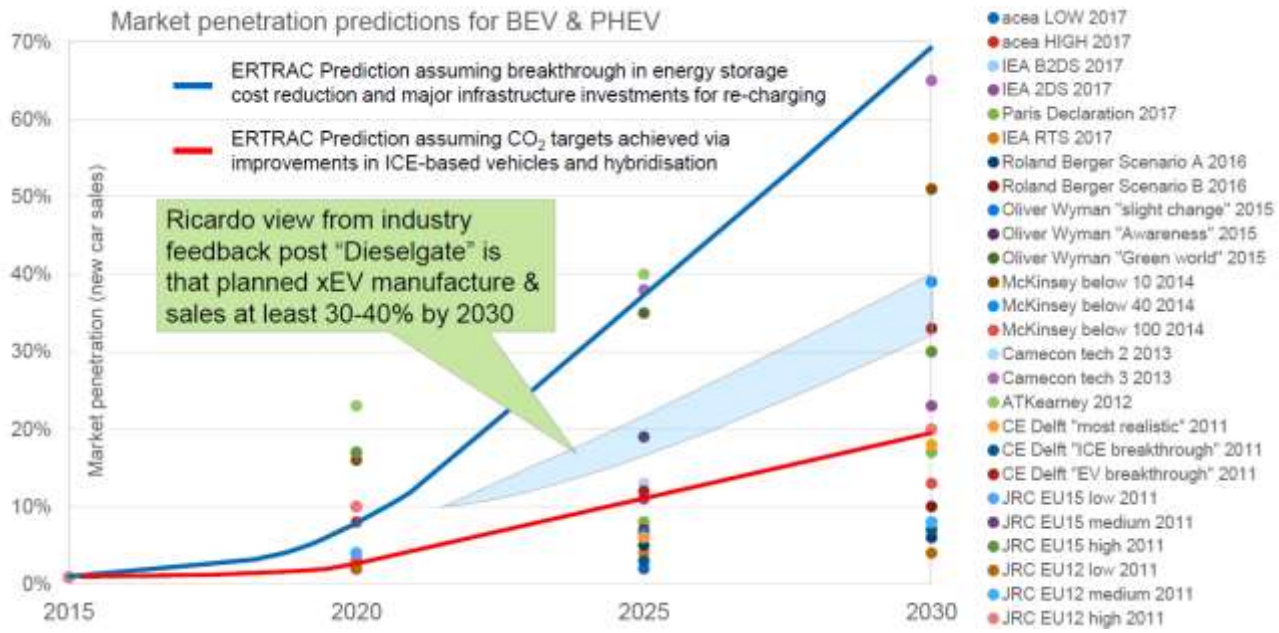


Figura 13: *Analisi di Ricardo sulle previsioni di penetrazione di mercato per veicoli ibridi ed elettrici in Europa.*

[42]Neville Jackson, Future Propulsion System: A Feasible route to 80% reduction in road transport GHG emissions. Transport group workshop of the Oil and Gas Climate Initiative, Londra, 9Ottobre 2017. http://www.oilandgasclimateinitiative.com/

Altra tecnologia che ha già raggiunto un certo grado di maturità è quella delle celle a combustibile. Essa utilizza un motore elettrico alimentato con energia elettrica prodotta dalla cella a combustibile attraverso l'ossidazione dell'idrogeno. Questo sistema è quindi caratterizzato da emissioni "locali" nulle ed utilizza l'idrogeno (H_2) quale vettore energetico. Quest'ultimo può essere stoccato in bombole ad alta pressione, o prodotto a bordo veicolo attraverso reformer da una riserva di metano. Attualmente sono già commercializzate automobili spinte da questa tecnologia, il cui mercato europeo però è praticamente nullo (nel 2015 i veicoli venduti sono stati 200 in tutta Europa), e le previsioni di mercato della Direzione generale della Commissione Europea (DG MOVE) stimano incrementi marginali anche nel lungo termine, attestandosi a circa l'1-2% nel 2050[43].

Il vantaggio principale di questa tecnologia è l'avere un rapporto peso/potenza del propulsore inferiore a quello dei veicoli elettrici con batteria, accoppiato ad un'autonomia di marcia e tempi di rifornimento del gas pressoché paragonabile ai motori termici convenzionali. La Tabella 1 riporta i valori prestazionali di un'auto con celle a combustibile di ultima generazione[44].

Tabella 1 Caratteristiche e prestazioni di un'auto a celle a combustibile di ultima generazione.

Parametro	Valore
Autonomia di marcia [km]	≈750 km
Potenza motore	100 kW
N° passeggeri	5
Pressione serbatoio idrogeno	700 bar
Tempo di rifornimento	≈ 3 min.

I due maggiori ostacoli alla diffusione delle celle a combustibile sono la necessità di un'infrastruttura dedicata per la distribuzione dell'idrogeno (più complessa e costosa di quella del gas naturale e dell'energia elettrica), e l'esigenza di produrre idrogeno per l'alimentazione della cella a combustibile. Si tratta infatti di un processo energivoro, che pone gli stessi problemi della produzione di energia elettrica discussi in precedenza. Se però questo tipo di soluzione appare alquanto complessa da sviluppare per la mobilità personale, potrebbe risultare vantaggiosa, in termini di bilancio tra costo e impatto ambientale, se realizzata per settori di trasporto costituiti da flotte di veicoli con rotte ben definite dove realizzare terminal di rifornimento, come ad esempio il sistema di trasporto pubblico urbano

[43] DG MOVE - Expert group on future transport fuels. State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union. Final report 2015.
https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/studies/doc/2015-07-alter-fuels-transport-syst-in-eu.pdf

[44] Nobuhiro Saito ed al., Fuel Cell System for Honda CLARITY FUEL CELL and activity towards the Hydrogen Society. 38° Internationales Wiener Motorensymposium 2017

su gomma o le rotte commerciali di flotte di mezzi pesanti. Ma questo aspetto è meglio analizzato nella sezione successiva.

Trasporto commerciale (Heavy Duty Vehicles)

Le considerazioni generali fatte per le motorizzazioni automobilistiche possono considerarsi pressoché valide anche per il settore commerciale, dove però è opportuno specificare che la scelta sull'acquisto dei veicoli commerciali è sempre ed unicamente dettata, a parità di carico trasportabile, dal costo sul ciclo di vita utile del mezzo. Inoltre, ancor più che per i veicoli destinati alla mobilità personale, per quelli commerciali, soprattutto con percorrenza a lungo raggio su percorsi interurbani ed autostradali, il fattore inquinamento ambientale peserà in maniera sempre più ridotta rispetto alla necessità di limitare le emissioni di gas serra.

Ecco allora che, tenuto conto delle potenze in gioco necessarie alla trazione dei veicoli, che variano da poco più di 100 kW, per i veicoli leggeri, a più di 400 kW, per i veicoli pesanti destinati al trasporto a lungo raggio, le soluzioni nel breve termine sono rappresentate da successivi step di sviluppo delle motorizzazioni tradizionali, sia diesel che a gas. Nel caso delle motorizzazioni diesel, le attività di ricerca e sviluppo mirano al raggiungimento di efficienze globali dei motori dell'ordine del 50%, attraverso l'efficientamento del motore stesso, l'elettrificazione ed il recupero energetico dei gas di scarico.

Per quelle con alimentazione a gas naturale, un eventuale incremento di penetrazione nel mercato offrirà un contributo notevole agli obiettivi di riduzione di CO_2 di breve e medio termine. Per i moderni motori a gas, le prestazioni in termini di coppia e potenza massima sono paragonabili a quelle diesel e, rispetto a quest'ultimo, il guadagno di riduzione di CO_2 sull'intero ciclo di utilizzo del mezzo (includendo quindi anche la penalizzazione legata all'emissione di metano nell'ambiente da parte della filiera della distribuzione) è di circa il 16%; tale differenza potrebbe salire al 20% per i veicoli post-2025/2030 tenuto conto delle tecnologie in sviluppo[45]. A conferma di quanto sopra, la Figura 14 riporta le percentuali di riduzione di CO_2 in funzione della penetrazione di mercato di veicoli pesanti (trucks) e bus per il 2030 assumendo una differenza di emissione di CO_2 tra motorizzazione gas e diesel del 16%[46].

[45] NGVA Europe. Greenhouse Gas Intensity of Natural Gas Study. http://ngvemissionsstudy.eu/
[46] https://www.ngva.eu/natural-gas-vehicles-offer-large-opportunity-for-rapid-reduction-of-ghg-emissions-within-upcoming-strategy-on-decarbonisation-of-transport

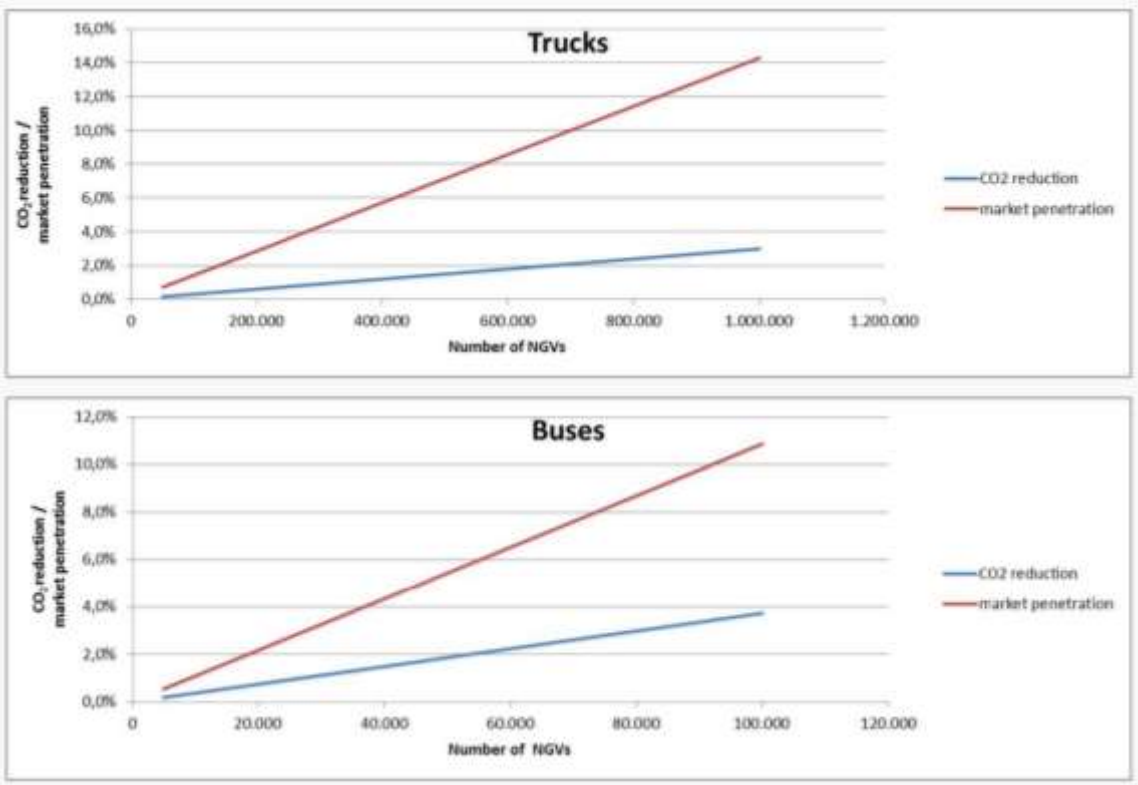


Figura 14: *Previsioni di riduzione di CO_2 in Europa al 2030 in funzione della penetrazione del mercato di veicoli commerciali pesanti (Truck) e bus*

Nel medio e lungo termine, la mobilità sostenibile per i veicoli commerciali potrebbe basarsi essenzialmente su propulsori termici e motorizzazione a celle a combustibile. Per i motori convenzionali, è prevedibile l'utilizzo di un mix di gasolio da petrolio e combustibili diesel da rinnovabili per i motori diesel, mentre per i motori a gas naturale ci si aspetta un progressivo incremento di utilizzo di biogas. I veicoli a celle a combustibile potrebbero avere un ruolo non marginale grazie all'adeguata autonomia di marcia e dei tempi di rifornimento. La successiva Figura 15 illustra le caratteristiche di due mezzi pesanti a celle a combustibile in fase di sviluppo in USA[47].

[47] Neville Jackson, Future Propulsion System: A Feasible route to 80% reduction in road transport GHG emissions. Transport group workshop of the Oil and Gas Climate Initiative, Londra, 9Ottobre 2017. http://www.oilandgasclimateinitiative.com/

Veicolo	Toyota Fuel Cell 8 Truck	NiKola One Fuel Cell Truck
Potenza Celle a combustibile	224 kW	300 kW
Capacità pacco batterie	12 kWh	320 KWh
Potenza motore elettrico	500 kW	750 kW
Capacità di accumulo di H_2 a 700 bar	40 kg	>250 kg
Autonomia di marcia con massimo carico	260 km	1900 km
Prezzo	-	$5000/mese incluso il combustibile (Il costo di un Truck equivalente Diesel è di circa $2200+combustibile)

Figura 15: *Principali caratteristiche di veicoli commerciali per il trasporto pesante spinti da celle a combustibile in fase di sviluppo in USA.*

Come già detto, per questo tipo di applicazione si rende necessaria una rete di distribuzione dedicata e ad elevato costo di realizzazione. Tuttavia, per veicoli a lungo raggio con rotte prestabilite, l'ostacolo dell'infrastruttura dedicata potrebbe essere superato attraverso la realizzazione di terminal di distribuzione di idrogeno, così come oggi accade per la rete del gas naturale liquido (LNG). Tale scenario potrà concretizzarsi se il progresso tecnologico permetterà di realizzare un costo di vita utile di questi mezzi paragonabile ai motori più convenzionali.

Relativamente alla propulsione totalmente elettrica, la documentazione tecnica è abbastanza concorde nel ritenere questa strada non percorribile, almeno fino al 2050. Oltre alle osservazioni esposte nella sezione precedente sulla produzione di energia elettrica da fonti non rinnovabili, l'impiego di un sistema di propulsione elettrico a batterie in mezzi pesanti richiederà lo sviluppo di tecnologie totalmente innovative per lo stoccaggio dell'energia elettrica (ad oggi non ancora identificate). Infatti, se si combinano capacità di accumulo di energie delle batterie al Litio, potenza impegnata per veicolo ed autonomia richiesta, ecco che la proporzione tra dimensione del pacco batteria e carico utile trasportabile risulta molto

critica, come schematizzato in Figura 16[48]. La Figura mostra chiaramente che per questo tipo di applicazione è necessario un pacco batterie che pesa dal 20 al 30% del carico utile trasportabile, senza tener conto dei tempi di ricarica e del costo.

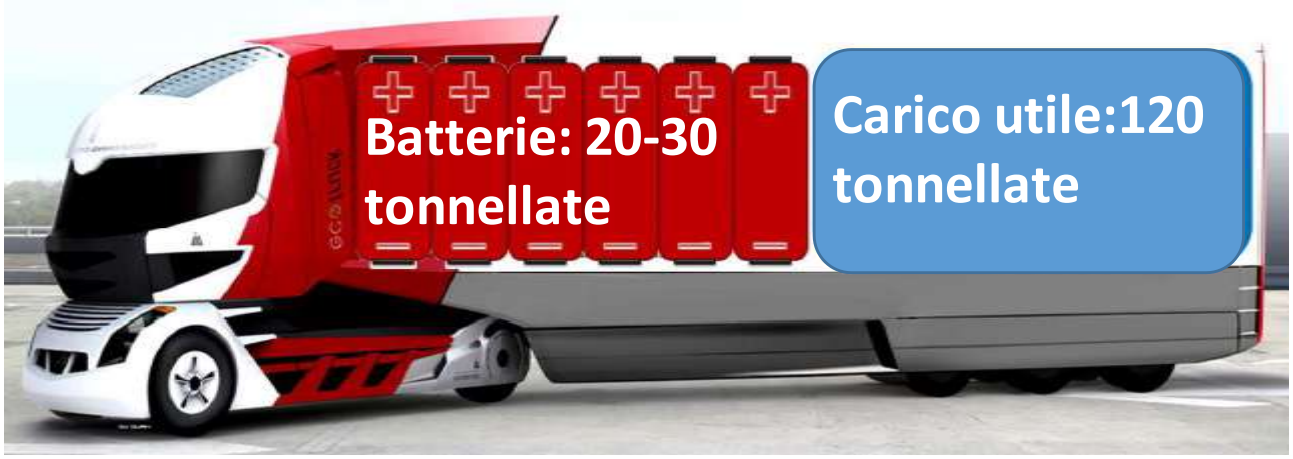


Figura 16: *Rapporto tra carico utile e peso del pacco batterie per un veicolo pesante americano (Truck)*

La mobilità futura per tipologia ed applicazione

In base a quanto analizzato nelle sezioni precedenti, è possibile sviluppare un grafico sinottico delle tipologie di motorizzazioni e dei relativi vettori energetici che si prevedono per la mobilità sostenibile su gomma per il 2050, al fine di rispettare i limiti di emissioni gas serra che l'Europa si è imposta. Tale previsione e riportata nella Figura 17 che raggruppa quindi le varie tecnologie che si prevedono per ciascuna tipologia di applicazione.

Dalla figura si evince che la propulsione puramente elettrica sarà largamente adottata per la mobilità strettamente urbana e di breve raggio, mentre per i percorsi di medio raggio ed interurbani, la mobilità sarà prevalentemente garantita da un utilizzo misto di propulsori ibridi a diverso grado di elettrificazione (e con ricarica da rete) ed eventualmente alimentati con mix di gasolio/benzina da petrolio e combustibili alternativi (gas naturale, biogas e biocombustibile liquido). Laddove sarà sviluppata una rete infrastrutturale adeguata, ci sarà spazio per l'impiego di veicoli mossi con celle a combustibile.

Per i collegamenti a lungo raggio ed i percorsi autostradali, la mobilità puramente elettrica non sembra prevedersi neanche a lungo termine. Questo settore sarà ancora prevalentemente ad appannaggio dei motori termici, anche se sistemi ibridi e celle a combustibile potranno guadagnare una certa fetta di mercato se raggiungeranno un adeguato compromesso tra autonomia di marcia, emissioni di CO_2, costo, accessibilità e tempi adeguati per il rifornimento.

[48] Ibidem

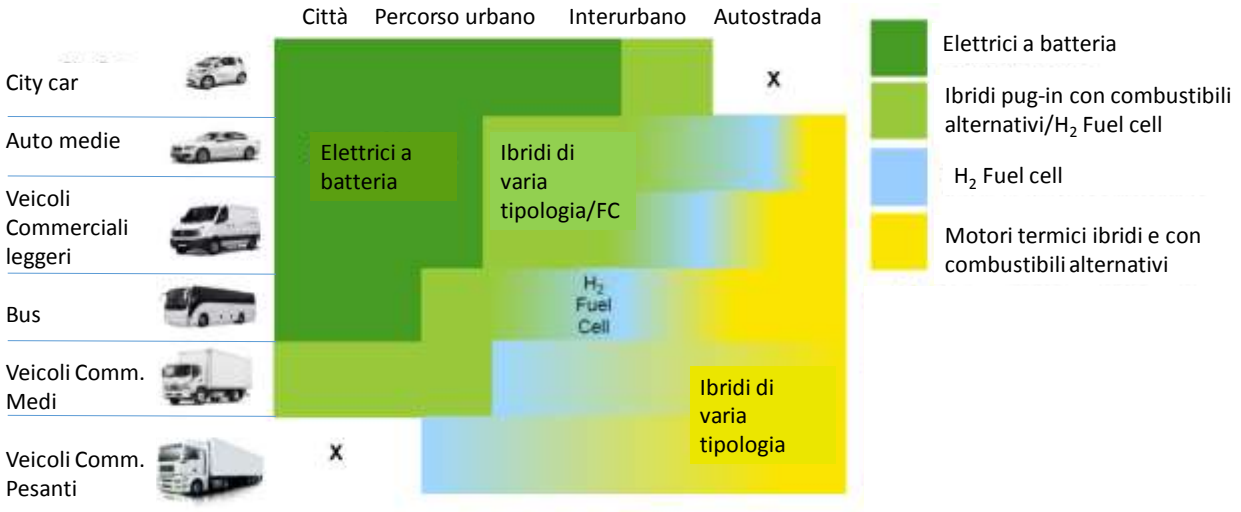


Figura 17: T*ipologie di motorizzazioni che si prevedono al 2050 per ciascuna tipologia di applicazione*[49].

Nel caso della mobilità a corto e medio raggio, per i veicoli ibridi si tenderà a garantire un'adeguata autonomia di marcia in solo elettrico, soprattutto per i percorsi urbani, adottando piattaforme funzionanti con tensioni di 300-800V. Nel caso dei collegamenti a lungo raggio ed autostradali, i motori termici dovranno avere delle efficienze più elevate di quelli attuali, arrivando a circa il 45% per i veicoli leggeri e il 50% per i veicoli pesanti. Per entrambe le tipologie (leggeri e pesanti), si cercherà di raggiungere una certa sostituzione dei combustibili fossili con quelli alternativi a basso (o nullo) impatto ambientale in termini di CO_2. Ciò vale a dire gas naturale, biogas e combustibili rinnovabili da materie di scarto con possibilità di cattura della CO_2 dalla filiera del biocombustibile al fine di abbassare il più possibile il bilancio sull'intero ciclo di utilizzo.

Impatto di tipologia di veicolo e modalità d'uso sulle emissioni di CO_2

Al di là delle analisi e degli scenari descritti, gli obiettivi per la sostenibilità ambientale del futuro sistema dei trasporti potranno essere raggiunti solo se ci sarà piena consapevolezza, da parte di tutti i cittadini, degli effetti della modalità d'uso dei mezzi di trasporto sull'emissioni di CO_2. Che l'emissione di CO_2 sia proporzionale alla massa inerziale del veicolo a parità di numero di persone trasportate, ed indipendente dal tipo di motorizzazione (termica o elettrica), è un fatto abbastanza logico, ma probabilmente largamente sottovalutato nella scelta degli automobilisti.

La Figura 18 mostra che un autoveicolo di grandi dimensioni emette circa il 30% in più di un veicolo piccolo se completamente occupato (circa quattro persone), e che tale valore si assesta tra i 40-50 g/km di CO_2. Se gli stessi veicoli sono sotto impegnati con un trasporto medio di

[49] Ibidem

1.5 persone per ciascun mezzo, l'utilizzo del veicolo grande produce il 50% in più del veicolo piccolo, e il valore medio di emissione è tra i 100 e 150 g/km[50].

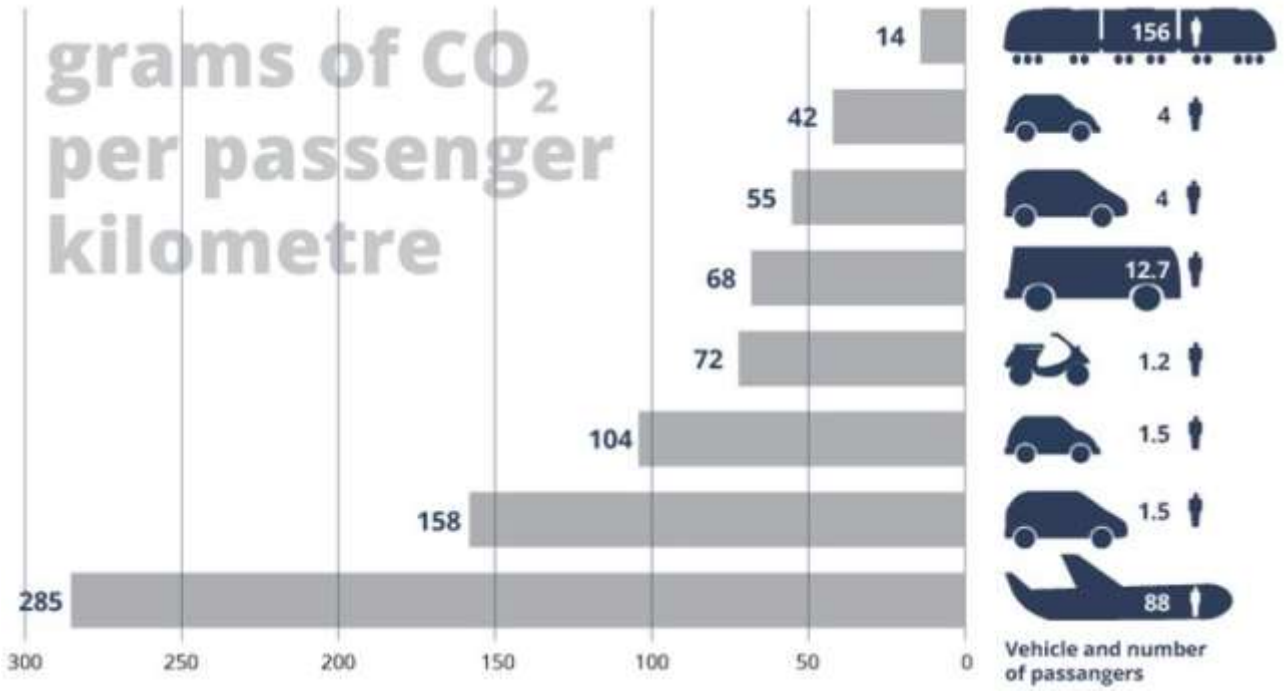


Figura 18: *Emissione di CO_2 per kilometro percorso per passeggero e per tipo di veicolo*[51].

Conclusioni

La mobilità sostenibile in grado di traguardare gli obiettivi europei di emissioni di CO_2 per il 2030 e 2050 potrà essere realizzata solo attraverso l'uso di tecnologie a minor impatto ambientale che garantiscano l'implementabilità, accessibilità e convenienza da parte della maggioranza dei cittadini europei.

La complessità del settore tecnologico, fortemente intrecciato anche con lo scenario energetico relativo alle fonti primarie e ai combustibili, richiede uno sforzo di innovazione e di sviluppo ancora più importante, dal momento che i target ambientali potranno essere soddisfatti unicamente agendo sulle sinergie tra l'evoluzione tecnologica, l'integrazione di nuove forme di propulsione e l'utilizzo di combustibili a basso tenore di carbonio e/o derivati

[50] European Environment Agency. Focusing on environmental pressures from long-distance transport. TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. ISBN 978-92-9213-497-6, ISSN 1977-8449, doi:10.2800/857401

[51] Neville Jackson, Future Propulsion System: A Feasible route to 80% reduction in road transport GHG emissions. Transport group workshop of the Oil and Gas Climate Initiative, Londra, 9Ottobre 2017. http://www.oilandgasclimateinitiative.com/

da fonti energetiche rinnovabili. La soluzione ottimale dal punto di vista del sistema di propulsione dipenderà quindi dal tipo di veicolo e dal suo uso (utilizzo urbano, extraurbano ed autostradale).

Con un'evoluzione progressiva dallo scenario attuale fino al 2050, possiamo asserire che la trazione elettrica con batterie coprirà la stragrande maggioranza della mobilità urbana, svolgendo un ruolo chiave per gli obiettivi di sostenibilità ambientale, se però accoppiata ad un incremento della frazione di energia prodotta da fonti rinnovabili. In tal caso la principale barriera sarà solo la realizzazione di un'adeguata infrastruttura di ricarica.

L'ibridizzazione del motore a combustione interna avrà grande diffusione nella mobilità extraurbana sia per i veicoli passeggeri che per i veicoli commerciali. Il grado di elettrificazione dei motori ibridi dipenderà dalla disponibilità dell'infrastruttura di distribuzione per la ricarica, per i veicoli ad alto grado di ibridizzazione con ricarica da rete (plug-in), e dal miglioramento delle batterie in termini di capacità di accumulo di energia e relativo costo. In questo settore, i motori a celle a combustibile, che avranno raggiunto una buona competitività con quelli convenzionali in termini di costo e maturità tecnologica, potranno raggiungere un certo grado di penetrazione sul mercato, laddove sarà presente una rete di distribuzione di idrogeno.

Un contributo fondamentale al perseguimento degli obiettivi sarà dato dall'impiego di combustibili rinnovabili, soprattutto essendo già disponibili tecnologie di processo e motori in grado di valorizzare le caratteristiche di questi prodotti (gas naturale, biogas e biocombustibile liquido da materie di scarto). Rispetto all'urgenza di contenere le emissioni di gas serra, la problematica delle emissioni nocive prodotte dai motori a combustione sarà sostanzialmente messa in secondo piano grazie alle nuove normative, ai più efficaci controlli sul parco circolante ed alle nuove tecnologie motoristiche e di post-trattamento dei gas di scarico.

Per il trasporto commerciale pesante, il lungo termine vedrà ancora protagonista il motore termico, soprattutto grazie all'elevata densità energetica dei vettori (gas, gasolio e biocombustibili), dei quali il gas naturale dovrebbe avere un ruolo chiave, soprattutto attraverso un vero sviluppo della rete del GNL. Ci saranno comunque opportunità di diffusione dei propulsori a celle a combustibile grazie alla possibilità di rifornimento di flotte di veicoli con rotte prestabilite, e per le quali potranno essere realizzati specifici terminal di distribuzione di idrogeno, così come accade ora per il GNL.

Mobilità elettrica.
Analisi del possibile sviluppo del mercato della mobilità elettrica, con attenzione agli aspetti economici e ai punti critici

Stefano Besseghini[52], Michele Benini[53] e Giuseppe Mauri[54]

Introduzione

Questa memoria intende trattare i temi dello sviluppo del mercato della mobilità elettrica in uno scenario 2025-2030, indicando come verranno affrontate le criticità "reali" che presenta l'auto elettrica rispetto al suo sviluppo, includendo il tema della riduzione di costo dei sistemi di accumulo, vera chiave tecnologica per lo sviluppo del settore. Verrà altresì trattata la resistenza del sistema elettrico nazionale italiano allo stress prodotto dalla penetrazione delle auto considerando un teorico quanto irrealistico "switching completo" verso la mobilità elettrica.

In questo scenario verrà considerata anche la ricarica veloce presso le stazioni di servizio nell'ipotesi che rendano disponibili sistemi con potenza totale cumulata, che potrebbe anche essere per brevi periodi superiore al MW, grazie all'ausilio di accumulatori stazionari installati in loco.

In seguito verrà approfondito l'impatto dello scenario considerato al 2030 sulle reti elettriche della distribuzione con il carico dovuto alla mobilità elettrica che si somma ad una situazione in cui la penetrazione del vettore elettrico è incrementata anche per la maggiore diffusione delle pompe di calore. Un sintetico paragrafo è volto a indicare come la collaborazione tra RSE e ANIE abbia messo a disposizione degli utenti dell'auto elettrica italiani un dispositivo economico ed estremamente semplice da installare che permette di ricaricare un'auto elettrica senza l'assillo dello scatto del contatore e senza richiedere un aumento di potenza contrattuale. Tutto ciò considerata la tipologia di fornitura elettrica che caratterizza l'utente medio italiano tipicamente sui 3kW e la scarsa propensione al cambiamento malgrado i nuovi profili tariffari.

La memoria termina analizzando il differenziale di costo per un tipico acquirente italiano di una vettura di segmento A o B che debba fare una scelta tra vetture simili ma con diverso powertrain: benzina, gpl, metano, diesel, ibrido, ibrido plug-in ed elettrico. Ciò è stato fatto considerando due tipologie di ricarica, la prima tipologia prevede 80% ricarica al contatore domestico e 20% ricarica in ambiente pubblico; la seconda tipologia prevede il 100% delle ricariche effettuate in area pubblica, ovvero tenendo conto che più della metà dei possessori di veicoli italiani non ha un ricovero per la propria auto, oppure non ha la possibilità portare l'energia elettrica del proprio contatore domestico alla propria auto.

---

[52] Stefano Besseghini, Presidente e Amministratore delegato RSE.
[53] Michele Benini, Vicedirettore Dipartimento Sviluppo Sistemi Elettrici.
[54] Giuseppe Mauri, Responsabile Gruppo di Ricerca Tecnologie ICT per gestione e sicurezza informatica reti T&D.

Sviluppo del mercato della mobilità elettrica

Il mercato delle auto elettriche, come appare evidente dalla seguente Figura 1, è in rapida crescita, anche se caratterizzato da volumi ancora limitati. La crescita è tuttavia attualmente sostenuta in molti paesi da incentivi, a volte particolarmente generosi. Eclatante è il caso della Norvegia dove, nel Settembre 2017, le auto *plug-in* (elettriche pure o ibride) hanno raggiunto ben il 48% di quota di mercato, escludendo le auto convenzionali dalle prime 10 posizioni della classifica delle vendite (sono comunque presenti 4 modelli ibridi non *plug-in*). La quota di mercato delle auto *plug-in* sull'intero 2017 a Settembre è al 37%, destinata a salire verso il 40% per fine anno.

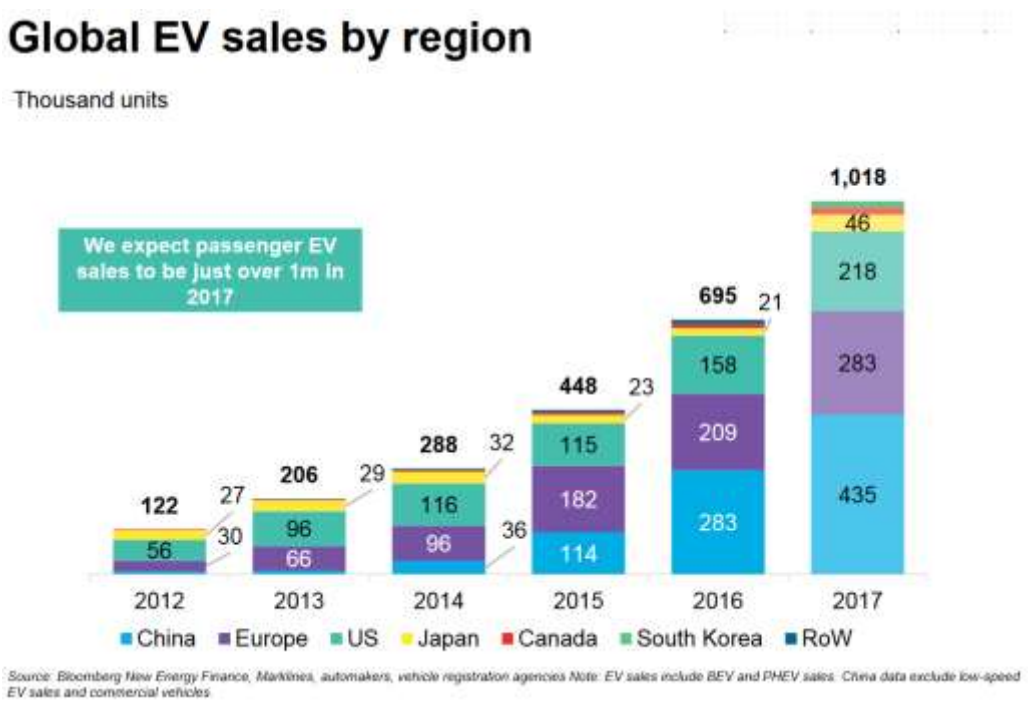


Figura 1: *Vendita totale di veicoli elettrici per regione*

Ma quali misure sostengono una crescita così impetuosa? In Norvegia le auto elettriche pure sono esenti dall'IVA, pari al 25% del costo d'acquisto. Le auto aziendali invece sono soggette ad un'imposta del 30% sulle prime 286.000 corone (circa 30.300 €) e del 20% sulla parte del prezzo di listino che supera le 286.000 corone. Nel caso delle auto elettriche pure, ai fini del calcolo dell'imposta, il prezzo di listino viene ridotto del 50%.

Le auto elettriche pure sono inoltre esenti dalla tassa di immatricolazione. Tale tassa è calcolata come somma di 4 componenti legate alla massa dell'auto, alla potenza e alle emissioni specifiche di CO_2 e di NO_x (Figura 2). Per un'auto media tale tassa pesa per circa il 30% del costo d'acquisto. L'esenzione delle auto elettriche pure è prevista cessare nel 2020, tuttavia anche in quel caso la tassa sarà di limitata entità, in quanto la potenza del motore elettrico non è tassabile, le emissioni di NO_x sono nulle e la componente relativa alle emissioni di CO_2 (nulle) ha un valore negativo.

Per quanto riguarda le auto ibride plug-in, ai fini del calcolo della tassa di immatricolazione il peso del powertrain elettrico viene detratto dalla massa del veicolo per una percentuale convenzionale pari al 26%.

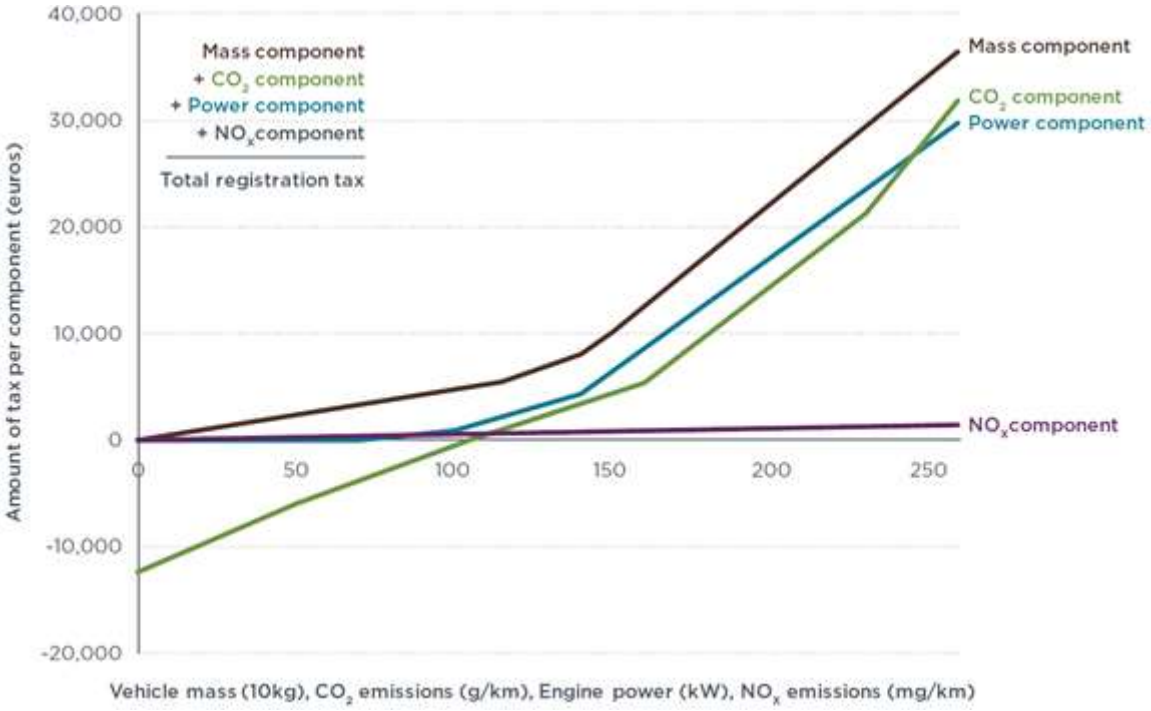


Figura 2: *Componenti della tassa di immatricolazione in Norvegia (fonte: "Comparison of leadingelectricvehicle policy and deployment in Europe", May 2016)*

Le auto elettriche pure pagano inoltre un bollo ridotto (435 corone = 46 € invece di 3.060 corone = 324 €).

Il 13% dei lavoratori norvegesi riceve inoltre un'indennità chilometrica per l'utilizzo della propria auto per motivi di lavoro. Questa indennità è più alta per le auto elettriche, ossia pari a 0,53 €/km, contro gli 0,50 €/km per i veicoli tradizionali.

In Norvegia, infine, le auto elettriche pure hanno accesso gratuito alle strade a pedaggio ed ai parcheggi, hanno libero accesso alle corsie preferenziali, possono caricare gratuitamente alle colonnine pubbliche e pagano biglietti ridotti sui traghetti. È stato stimato che il valore di questi incentivi indiretti sia dell'ordine di 16.000 corone/anno (circa 1.700 €/anno).

Appare evidente come un sistema così generoso non sia economicamente sostenibile, se non nel breve termine, nell'attesa che i "punti deboli" che attualmente non rendono pienamente competitive le auto elettriche rispetto a quelle convenzionali vengano risolti.

I vantaggi delle auto elettriche, in termini di efficienza energetica complessiva, riduzione delle emissioni climalteranti e riduzione degli impatti locali sulla qualità dell'aria sono ben noti. A fronte di tali vantaggi, i principali punti deboli che attualmente ne limitano la diffusione sono, rispetto alle motorizzazioni convenzionali:

- il maggiore costo di acquisto,
- la più limitata autonomia, insieme con una ancora ridotta disponibilità di infrastrutture pubbliche per la ricarica.

Quali sono le aspettative di evoluzione nel prossimo futuro di tali fattori limitanti?

Evoluzione del costo delle auto elettriche

Per quanto riguarda la differenza di costo di acquisto essa è in gran parte dovuta al costo delle batterie. Per contro tale costo ha conosciuto una diminuzione che è stata sistematicamente più veloce di ogni previsione. A fronte di un costo medio di 1000 $/kWh nel 2010, secondo BNEF si è passati a 350 $/kWh nel 2015, a 227 $/kWh nel 2016 secondo McKinsey, per giungere a 162 $/MWh nel 2017 ancora secondo BNEF. Per il futuro, stime di molteplici fonti concordano nel confermare questo rapido trend decrescente: ad esempio, il *Department of Energy* statunitense prevede 100 $/kWh nel 2025, mentre BNEF prevede 73 $/kWh nel 2030.

Ma quanto costerebbe un'auto elettrica media sulla base di queste proiezioni di costo?

Secondo uno studio[55] citato dal Fraunhofer ISE nel rapporto *"What will the energy transformation cost?"* del 2015, il costo del veicolo, esclusi *powertrain* e batteria, è dell'ordine di 16.000 € e si prevede costante nel tempo, mentre il costo del *powertrain*(motore elettrico, inverter, elettronica di controllo, ecc.) è previsto scendere a 3.400 € nel 2025 ed a 3000 € nel 2030.

Ipotizzando una batteria da 100 kWh, in grado di garantire autonomie superiori ai 500 km, con i costi sopra citati ed il cambio $/€ attuale di circa 1,18, l'auto media considerata avrebbe un costo di circa 28.000 € nel 2025 e di circa 25.000 € nel 2030, quindi tutto sommato in linea con i costi attuali di un'auto convenzionale del segmento C, costi, questi ultimi, che non paiono destinati a riduzioni significative, anche tenendo conto dei sempre più restrittivi vincoli emissivi a cui le motorizzazioni a combustione interna saranno soggette ed al maggior onere che anche il costo di ibridazione comporterebbe.

A ulteriore vantaggio dell'auto elettrica vanno poi i minori costi "di combustibile" e di manutenzione che spesso si riducono alla sola verifica a calendario dell'impianto frenante, tipicamente biennale, come RSE ha verificato con le proprie vetture elettriche.

Si noti peraltro che per un utilizzo quotidiano tipo casa-lavoro o in ambito urbano la batteria da 100 kWh ipotizzata risulta largamente sovradimensionata: si è comunque inteso fare riferimento ad una taglia in grado di porre l'auto elettrica su un livello di autonomia in grado di far fronte ad ogni esigenza di viaggio ed in grado di eliminare la *range anxiety* dell'utente.

[55] NOW – Nationale Organisation Wasserstoff Und Brennstoffzellen technologie: *"Ein Portfolio von Antriebs system en für Europa: Eine faktenbasierte Analyse"*, 2013.

Appare quindi chiaro come i limiti attuali di costo e, in maniera correlata, di autonomia delle auto elettriche siano destinati ad essere superati nel medio termine. Tale processo avverrà tanto più rapidamente quanto più veloce sarà lo sviluppo tecnologico delle batterie che vede in corso molteplici promettenti filoni di ricerca, e, soprattutto, quanto più celermente si svilupperanno economie di scala legate a crescenti volumi di vendita, a cui contribuiranno anche le applicazioni delle batterie nel settore elettrico, legate allo sviluppo delle fonti rinnovabili non programmabili, dell'autoconsumo e delle *smartgrid*.

Sul lato della domanda di auto elettriche, oltre ai sistemi di incentivazione all'acquisto attualmente in vigore in vari paesi che auspicabilmente dovrebbero avere un ruolo solo nella fase iniziale di sviluppo del mercato, un impatto significativo potrebbe derivare dalle *policy*, sia a livello nazionale che a livello locale, attualmente in discussione in molti paesi e aree metropolitane, volte a vietare nel medio termine la circolazione o la vendita delle auto con motore a combustione interna, diesel in particolare.

Che le attese su una rapida crescita della domanda di auto elettriche siano in progressivo rafforzamento è testimoniato dalla Figura 3.

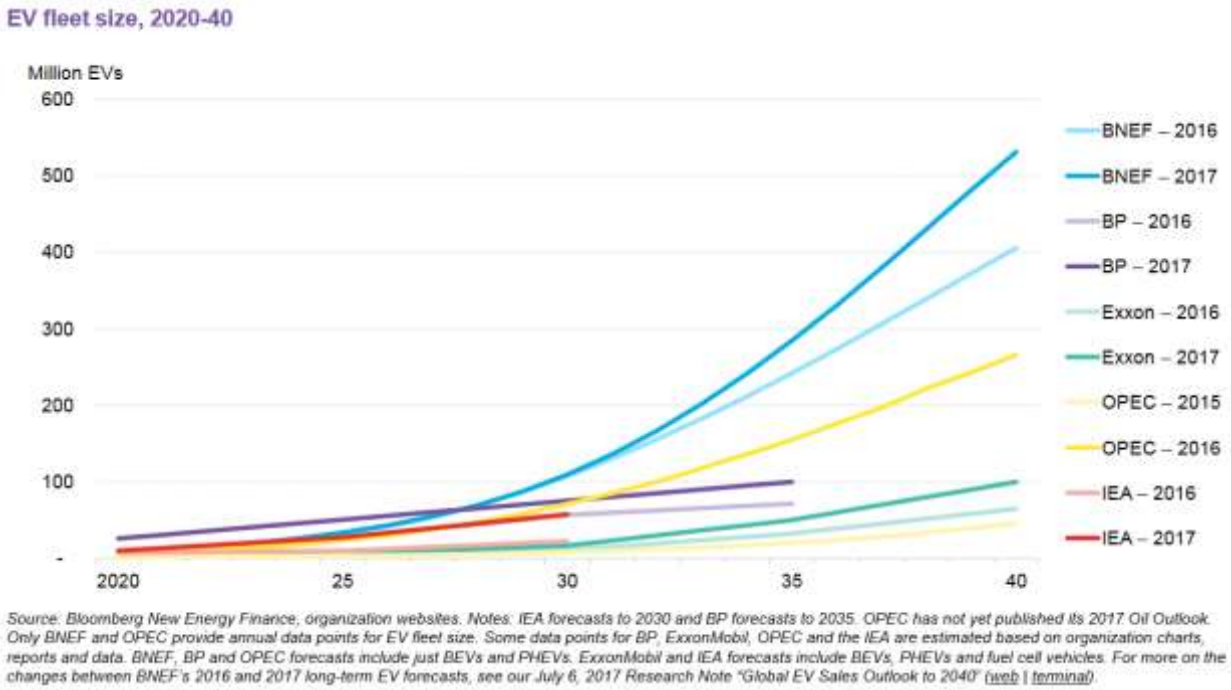


Figura 3: *Stime di sviluppo del parco globale di auto elettriche*

Si nota infatti come le stime di sviluppo del parco globale di auto elettriche effettuate da IEA, OPEC, Exxon, BP e BNEF, seppur più o meno ottimistiche, siano state sistematicamente riviste al rialzo nel passare dal 2015, al 2016 e al 2017.

Di particolare interesse è inoltre il caso della Cina, che ha deciso di imporre alle case automobilistiche che producono o importano più di 30.000 vetture l'anno, quote di vendita di auto elettriche pure o ibride *plug-in* del 10% nel 2019, del 12% nel 2020, per giungere al 20%

nel 2025. È noto infatti il drammatico problema della qualità dell'aria nei principali agglomerati urbani, che il governo cinese intende affrontare con tali misure, ma è anche chiara la strategia industriale che vi sta dietro: l'industria *automotive* cinese non è competitiva con quella europea / giapponese / statunitense in termini di sviluppo tecnologico delle motorizzazioni a combustione interna, per cui punta a "saltare" direttamente allo *step* successivo, quello elettrico, in cui costituirsi una posizione di vantaggio, forte dello sviluppo della domanda nel mercato interno (BNEF stima 2 milioni di auto elettriche nel 2020 e 7 milioni nel 2025) e degli investimenti nel settore della produzione di batterie al Litio. Non a caso, le associazioni dei costruttori di auto europea (ACEA), americana (AAPC), giapponese (JAMA) e coreana (KAMA) hanno ufficialmente chiesto al governo cinese di rendere meno stringenti i sopra citati obblighi.

In questo contesto, degna di nota è la recente dichiarazione del vicepresidente della Commissione UE e responsabile per l'energia Maroš Šefčovic, secondo cui la futura legislazione europea in tema di trasporti potrebbe includere dei vincoli sulle quote minime di auto elettriche da immettere sul mercato, analogamente a quanto fatto dalla Cina.

A fronte di una domanda globale in crescita, anche l'offerta si sta attrezzando per tenere il passo. La Figura 4, sempre di fonte BNEF, riporta la rilevante crescita del numero di modelli di auto elettriche offerti sul mercato attesa fino al 2021, insieme con i target di vendita dichiarati da alcuni dei principali produttori. A titolo di esempio, Volkswagen ha dichiarato che entro il 2025 intende mettere sul mercato 50 modelli puramente elettrici e 30 modelli ibridi *plug-in*.

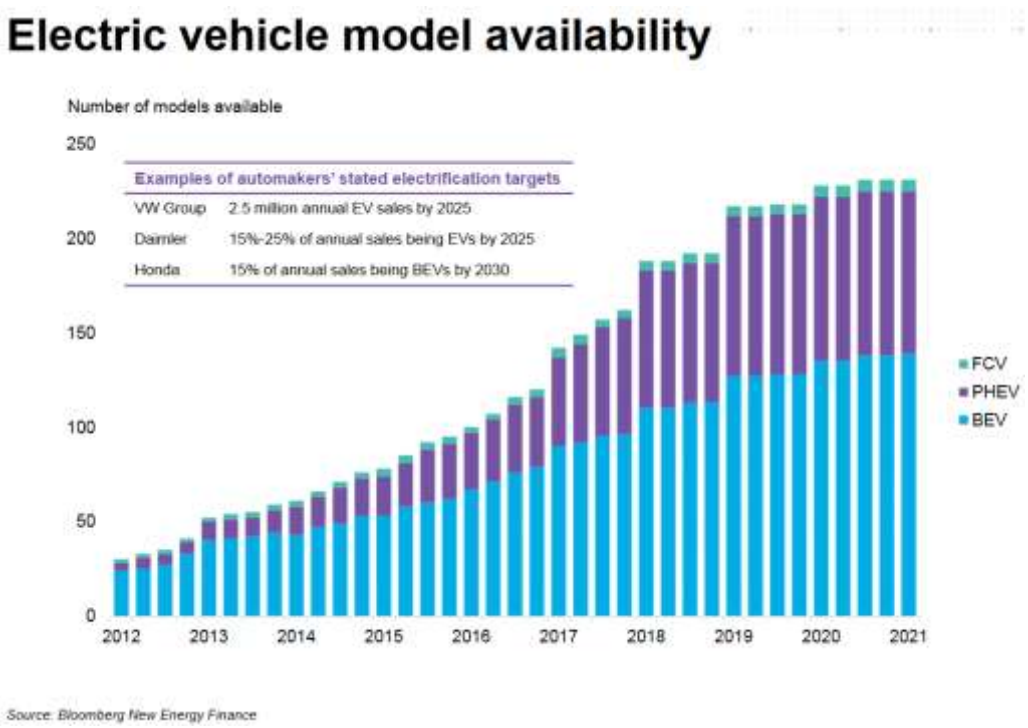


Figura 4: *Disponibilità di modelli di veicoli elettrici*

L'industria *automotive* a livello globale si sta attrezzando per far fronte a questo importante trend atteso, e lo stesso sta facendo l'industria dei sistemi di *storage* elettrochimici.

A questo riguardo, è significativa l'iniziativa della Commissione Europea battezzata *"Airbus delle batterie"* dallo stesso Maroš Šefčovic e finanziata con uno stanziamento da 2 miliardi di euro in ricerca e sviluppo. Nell'ambito di tale iniziativa, i rappresentanti dell'industria europea *automotive*, chimica, elettronica e dei sistemi di *storage*, degli Stati membri e delle istituzioni finanziarie si sono riuniti recentemente per avviare un processo di definizione di una strategia e di una politica industriale coordinata a livello continentale (che verrà presentata a Febbraio 2018) per assicurare la competitività del sistema industriale europeo nel settore delle batterie a supporto della mobilità elettrica, rimasto indietro rispetto a quelli asiatico e statunitense.

Spiace notare come l'industria italiana, assente a questi tavoli, non sembri in grado di cogliere l'importanza di tali trend che, nel medio-lungo termine, potrebbero metterne a rischio la sostenibilità del modello di business.

Le infrastrutture di ricarica

Per quanto riguarda lo sviluppo delle infrastrutture di ricarica, limitandosi all'Italia, recentemente ENEL ha dato il via ad un piano di infrastrutturazione massiva che nei prossimi due anni porterà a completare l'infrastruttura necessaria per la diffusione della mobilità elettrica, installando da 9.000 a 12.000 punti, di cui almeno 1.500 di tipo Fast Multistandard. Ci si aspetta quindi che tale piano renda disponibile una infrastruttura moderna capace di supportare un numero di auto significativo, probabilmente superiore alla più rosea previsione di diffusione di auto elettriche. Nella prima stesura della DAFI, la commissione indicava una distribuzione ottimale di colonnine di ricarica in una ogni 10 auto. Assumendo questa valutazione l'infrastruttura permetterà di supportare un parco circolante di 100.000 auto che implicherebbe un tasso di immatricolazione di circa 30.000 auto/anno tra il 2018 e il 2020. D'altra parte se in Italia ci sono poco più di 8.000 comuni, si capisce quanto l'infrastrutturazione pensata da ENEL di 9.000/12.000 punti di ricarica sia chiaramente più adatta a rendere disponibile un servizio di base tipo "destination charge" più che a soddisfare una elevata penetrazione di auto elettriche.

Si ricorda inoltre che la Strategia Energetica Nazionale pone l'obiettivo di realizzare 19.000 stazioni di ricarica per auto elettriche al 2020.

Le tecnologie di ricarica dei veicoli elettrici si suddividono in tre grandi famiglie: conduttiva, induttiva e battery swap.

La ricarica conduttiva consente il caricamento della batteria del veicolo elettrico attraverso il collegamento alla rete di alimentazione in corrente alternata (AC) del carica batterie a bordo veicolo. Un metodo alternativo per la ricarica del veicolo consiste nell'utilizzare un carica batterie esterno che fornisce corrente continua (DC) al veicolo. Entrambi i metodi di ricarica

sono caratterizzati da un collegamento fisico (attraverso il cavo di alimentazione) tra veicolo e infrastruttura di ricarica.

All'interno della tecnologia di ricarica conduttiva troviamo poi un'articolazione abbastanza complessa tra ricarica lenta (monofase o trifase), veloce (in AC o in DC) e ultraveloce un DC, strettamente legate alle evoluzioni tecnologiche che stanno caratterizzando tale ambito.

Con la ricarica induttiva il trasferimento di energia alla batteria avviene attraverso l'accoppiamento elettromagnetico tra due bobine: una montata sotto il veicolo e l'altra appoggiata o anche interrata nel luogo di stazionamento del veicolo. Tale tecnologia si suddivide in stazionaria, che può essere attivata anche automaticamente nel momento della sosta, oppure dinamica, che consiste nella ricarica del veicolo durante la marcia.

Alle prime due tipologie di ricarica si affianca la tecnica del *battery swap*, ovvero sostituzione delle batterie, che può essere considerata assimilabile a una tecnologia di ricarica. Nella Figura 5 sono rappresentate in maniera schematica le tecnologie di ricarica attualmente utilizzate, in relazione al tempo impiegato per la ricarica.

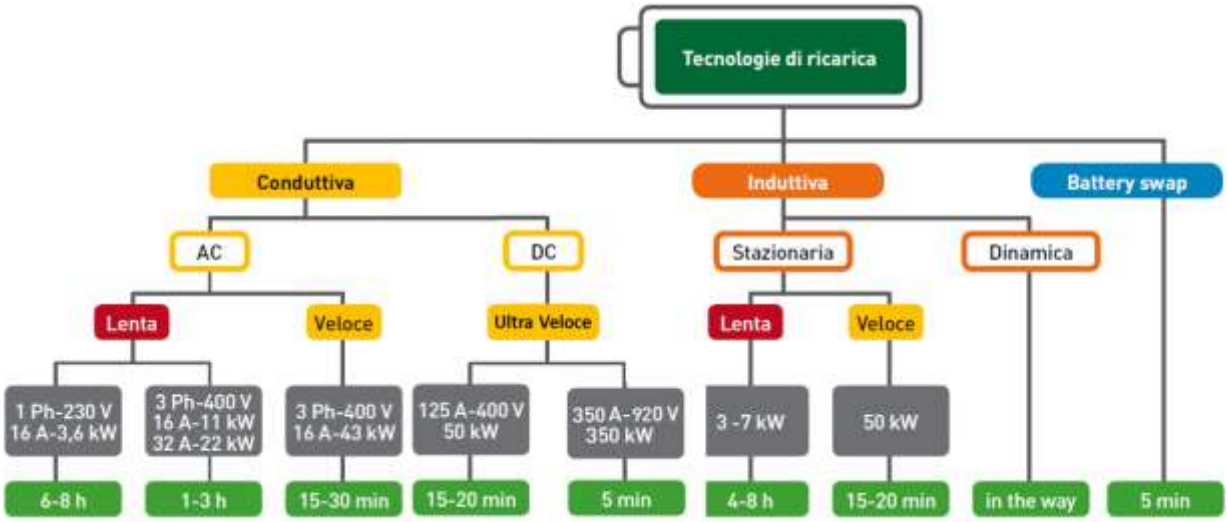


Figura 5: *Schematizzazione grafica delle tecnologie di ricarica*

Ricarica Conduttiva in AC

Per ricarica conduttiva "lenta" si intende una ricarica in corrente elettrica alternata fino a 32A monofase o trifase con la modalità denominata di "Modo 3". La ricarica in Modo 3 monofase (fino a 7 kW) o trifase (fino a 22 kW) è l'unica possibile in ambiente ad accesso pubblico e negli alberghi. Necessita di un connettore specifico denominato "Tipo 2" che oltre a contatti per potenza, terra e neutro ha anche contatti addizionali per la comunicazione e il controllo. Tale connubio di connettore "Tipo 2" e modalità di ricarica "Modo 3" permette, in qualsiasi

situazione e ambiente, il più elevato livello di sicurezza e controllabilità della ricarica[56]. Eccezionalmente e solo in ambiente privato, la norma permette anche la possibilità di utilizzare un "adattatore" a un connettore standard per uso domestico, tuttavia RSE ha dimostrato che tali connettori non sono idonei (per possibile surriscaldamento) a sostenere una erogazione prolungata per diverse ore di una corrente anche solo pari a 12 A. Quindi per evitare l'insorgere di problemi di qualunque tipo, anche in ambito domestico si raccomanda l'utilizzo di un dispositivo chiamato "Wallbox" che permette la ricarica in Modo 3. Regione Lombardia ha destinato incentivi per l'acquisto di questi dispositivi fino a coprire l'80% del costo totale, inclusa l'installazione, per un massimo di 1.500 euro a punto di ricarica e fino al 31 dicembre 2017. In questo caso il tempo necessario alla ricarica della batteria può ridursi a un'ora o poco più nel caso di una capacità di batteria intorno ai 20-24 kWh. Il costo di acquisto e installazione è nel range 1.000-5.000 euro per presa in funzione della potenza e della difficoltà di installazione (a breve le cifre di riferimento saranno disponibili come nuova voce anche nel prezziario della Camera di Commercio di Milano).

Ricarica conduttiva Veloce e Ultraveloce

La tecnologia di ricarica che si è affermata per placare l'ansia da autonomia e consentire una ricarica completa nel periodo di una breve sosta, è quella veloce con potenze disponibili che variano tra i 43 kW (63 A trifase a 400 V) di una ricarica in AC e i 50-60 kW (120 A a 400 V in corrente continua) di una ricarica in DC. Stanno però già arrivando i primi prototipi di sistemi di ricarica in DC che mettono a disposizioni potenze fino a quasi 350 kW (350A a 920 V = 322 kW). Tali sistemi sono pensati per ricaricare le batterie delle auto elettriche della prossima generazione con batterie di oltre 100 kWh ed autonomia di oltre 500 km. La tecnologia 350kW è largamente caldeggiata dai costruttori di veicoli elettrici perché permettendo di ricaricare 100 km ogni 3-5 minuti avvicina i tempi di rifornimento delle auto elettriche a quelli delle auto a combustione interna, sostanzialmente eliminando la barriera dell'autonomia. Il costo di acquisto e installazione dei sistemi oggi commerciali da 50kW è nel range 30.000-50.000 Euro per sistema di ricarica che permette una vettura alla volta in DC (a breve le cifre di riferimento saranno disponibili come nuova voce anche nel prezziario della Camera di Commercio di Milano).

Ricarica induttiva statica e dinamica

La ricarica induttiva si basa sul trasferimento di energia attraverso l'accoppiamento elettromagnetico di un circuito composto da due bobine: una che si trova annegata nel terreno o posizionata sopra il manto stradale e l'altra che si trova oltre il pianale dell'auto. Tra i vantaggi possiamo ricordare:

[56] *E... muoviti! Mobilità elettrica a sistema;* RSEview Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA, Editrice Alkes,2013: ISBN 978-88-907527-3-5.

- facilità di utilizzo: è sufficiente parcheggiare anche senza la necessità che l'auto sia perfettamente allineata sull'area di ricarica;
- convenienza: non ci sono cavi da connettere e sconnettere e quindi è superato il problema del connettore unico;
- l'unità di ricarica può essere montata sulla superficie del manto stradale o anche annegata appena sotto, senza alcun impatto sulla ricarica;
- la potenza può essere trasferita attraverso un "large gap air" con buona efficienza;
- ricarica è altamente tollerante sul disallineamento;
- protezione passiva dell'apparato di ricarica (il trasmettitore è annegato nell'asfalto, evitando quindi vandalismi);
- assente il rischio di shock elettrici (al contrario dei sistemi conduttivi di ricarica);
- possibile l'utilizzo in tutte le condizioni atmosferiche.

Il principale svantaggio di questa tecnologia è certamente l'efficienza, che risulta essere pari a circa il 90 per cento. Ciò comporta che il 10 per cento dell'energia elettrica utilizzata per caricare il veicolo non arrivi alle batterie ma vada persa durante il processo di trasferimento fra il trasmettitore e il ricevitore. Inoltre, poiché la ricarica induttiva richiede elettronica di potenza e bobine, ciò comporta un aumento della complessità e del costo del sistema di ricarica. Gli approcci più recenti riducono le perdite nel trasferimento di energia attraverso l'impiego di bobine ultra sottili, frequenze di risonanza più elevate e ottimizzando la componentistica elettronica. Sono in corso sperimentazioni anche per la ricarica wireless dinamica come mostrato nella seguente Figura 6. Piccoli esperimenti sono stati fatti su brevi tratti di strada per lo più mantenendo le spire fisse sempre alimentate, ovvero scontando il prezzo della bassa efficienza. Il futuro sono le spire che si accendono al passaggio della vettura emettendo dei flash di energia. I problemi di scalabilità per arrivare a infrastrutturare interi tratti autostradali sono enormi e affrontati da progetti di ricerca finanziati dalla Gran Bretagna con ingenti somme di denaro circa 100 Milioni di Sterline all'anno per cinque anni. La fattibilità tecnico economica di questa soluzione non è ancora stata dimostrata.

Figura 6: *Sono in corso sperimentazioni anche per la ricarica wireless dinamica.*

Battery Swap

Forse impropriamente indicata come tecnologia di ricarica, la *battery swap* altro non è che la tecnica di sostituzione della batteria. In stazioni appositamente costruite e attrezzate la batteria scarica viene sostituita, tramite un sistema robotizzato, con una batteria carica. Questo tipo di operazione, nei veicoli progettati e costruiti con l'obiettivo di rendere agevole la sostituzione della batterie, richiede pochissimi minuti. Se dal punto di vista dell'utente questo servizio può apparire molto attraente, in quanto il tempo necessario per la sostituzione è paragonabile a quanto richiesto per il rifornimento con carburante tradizionale, questa "tecnologia" di ricarica richiede investimenti altissimi. I costi di una singola *battery swap* station si aggirano attorno al mezzo milione di dollari. Inoltre prevede l'utilizzo di batterie dalla forma standardizzata e rinforzi aggiuntivi nelle vetture per mantenere la forma anche in assenza delle batterie che di fatto aumentando i pesi della vettura con evidenti effetti sui costi di produzione, sui consumi e l'autonomia. Un ulteriore e forse definitivo fattore che ha decretato l'abbandono di questa tecnologie da parte delle case costruttrici, è stato l'arrivo dei sistemi di ricarica ultrarapidi prima a 50 kW e poi a 350 kW. L'azienda Better Place, che ha cercato di costruire un modello di business attorno a questa soluzione di ricarica, ha dichiarato fallimento nel 2013. Le difficoltà finanziarie della società sono state causate dagli elevatissimi investimenti necessari per lo sviluppo dell'infrastruttura necessaria allo svolgimento delle operazioni di sostituzione delle batterie, e soprattutto dalla penetrazione del mercato in maniera significativamente inferiore a quanto originariamente previsto dai business plan.

Impatto sul sistema elettro-energetico

Scenario di penetrazione delle auto elettriche al 2030

Al fine di valutare l'impatto sul sistema elettrico nazionale dello sviluppo delle auto elettriche, può essere utile prendere in considerazione uno scenario estremo, che veda all'anno 2030 tutta la domanda di mobilità auto soddisfatta da veicoli puramente elettrici. Tale scenario non è affatto realistico, tuttavia rappresenta il caso più severo possibile con il quale confrontarsi, consci che la situazione che realmente si verificherà sarà molto meno critica.

Nello specifico, usando come riferimento la domanda di mobilità auto al 2030 considerata negli scenari sviluppati da RSE per la definizione della Strategia Energetica Nazionale, pari a circa 730 miliardi di passeggeri-km, il modello del sistema energetico nazionale MONET di RSE sviluppa un parco di auto elettriche di circa 33,7 milioni, di cui 3 milioni con efficienza media di circa 150 Wh/km, 14 milioni con efficienza media di circa 135 Wh/km e 16 milioni con efficienza media di circa 125 Wh/km (l'efficienza delle auto migliora nel tempo, man mano che si sviluppano nuovi e più avanzati modelli).

Ne consegue una domanda di energia elettrica annua complessiva pari a circa 64 TWh che, nello scenario considerato, corrisponderebbe ad un incremento di circa il 19% della richiesta sulla rete (domanda per usi finali più perdite di rete).

Un incremento del 19% è tanto o è poco? Il modello MONET di RSE ci dice che per soddisfare tale domanda aggiuntiva il mix ottimale nello scenario considerato sarebbe composto da circa 8,5 GW di cicli combinati a gas naturale, 5 GW di impianti fotovoltaici e 3 GW di impianti eolici: incrementi senz'altro significativi, ma non certo inaffrontabili. A titolo di confronto, in Italia nel primo decennio degli anni 2000 sono stati costruiti quasi 35 GW di nuovi impianti a ciclo combinato, nei 5 anni compresi tra il 2009 ed il 2013 sono entrati in servizio circa 17 GW di impianti fotovoltaici e, nel decennio tra il 2004 ed il 2014, circa 7,5 GW di impianti eolici.

Sempre a titolo di confronto, nel *TYNDP – Ten Years Network Development Plan 2016* predisposto da *ENTSO-E - European Network of Transmission System Operators for Electricity*, lo scenario *"Vision 1"* presentava per l'Italia al 2030 una richiesta sulla rete del 14% circa maggiore di quella dello scenario *"Vision 3"*. Una differenza del 19% non appare quindi drammatica, essendo dello stesso ordine di grandezza di quelle che si possono rilevare in diversi scenari ritenuti comunque plausibili.

Se, quindi, dal punto di vista dell'energia, non paiono esservi grossi problemi, occorre tuttavia porre attenzione ai profili di potenza assorbiti dalla rete che potranno essere gestiti con i sistemi di ricarica connessi in ambito *smartgrid*.

Profili di ricarica

La domanda di energia elettrica annua così determinata deve essere ripartita a livello orario, definendo in tal modo il profilo di ricarica medio del parco. Si tratta innanzitutto di determinare:

- quante auto elettriche potranno disporre di un posto auto privato attrezzato, utilizzabile per la ricarica notturna;
- quante auto elettriche dovranno necessariamente far ricorso a infrastrutture di ricarica pubbliche, utilizzate prevalentemente nelle ore diurne.

Partendo da una serie di considerazioni basate sui posti auto delle abitazioni esistenti, su quelli delle abitazioni nuove da costruire entro il 2030, sulla distribuzione provinciale di tali abitazioni/posti auto e delle auto elettriche e sul tasso di penetrazione delle auto elettriche nei posti auto disponibili, risulta che della domanda elettrica ascrivibile alle auto elettriche al massimo due terzi potrebbero essere allocati nelle ore notturne, mentre come minimo nelle ore diurne occorrerebbe allocarne un terzo. Mantenendo tale ripartizione giorno/notte, il profilo orario di ricarica è stato determinato come inversamente proporzionale alla distribuzione oraria degli spostamenti in auto a Milano e nel suo hinterland riportata in "Indagine sulla mobilità delle persone nell'area milanese", Comune di Milano – Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio del dicembre 2007 e mostrata in Figura 7, ottenendo il Profilo 1 mostrato in Figura 8. In media ciascuna auto elettrica percorrerà una distanza giornaliera significativamente inferiore alla sua massima autonomia, per cui necessiterà solo di qualche ora per ricaricarsi completamente. Inoltre, è plausibile ritenere che la maggioranza dei proprietari di auto elettriche che dispongano di un posto auto possa mettere in carica la

propria auto non appena giunti a casa la sera, concentrando in tal modo il picco della domanda elettrica nella sera e nelle prime ore della notte. In assenza di un sistema "intelligente" di controllo dell'infrastruttura di ricarica, coadiuvato da opportuni incentivi/disincentivi di tipo tariffario, in grado di "spianare" il profilo di ricarica notturno come nel Profilo 1, si otterrebbe un diverso scenario, del tipo del Profilo 2 mostrato in Figura 8. A titolo indicativo, la Figura 9 mostra l'impatto dei profili di ricarica considerati sulla domanda elettrica complessiva di un giorno tipo dell'anno 2030 preso a riferimento per il presente studio.

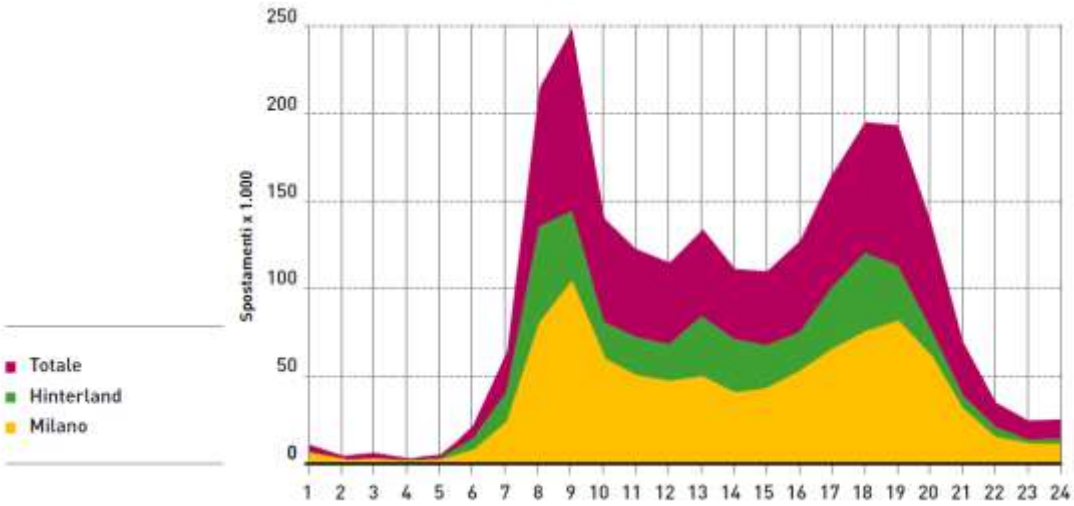


Figura 7: *Spostamenti a Milano e nel suo hinterland nelle 24 ore (fonte 2)*

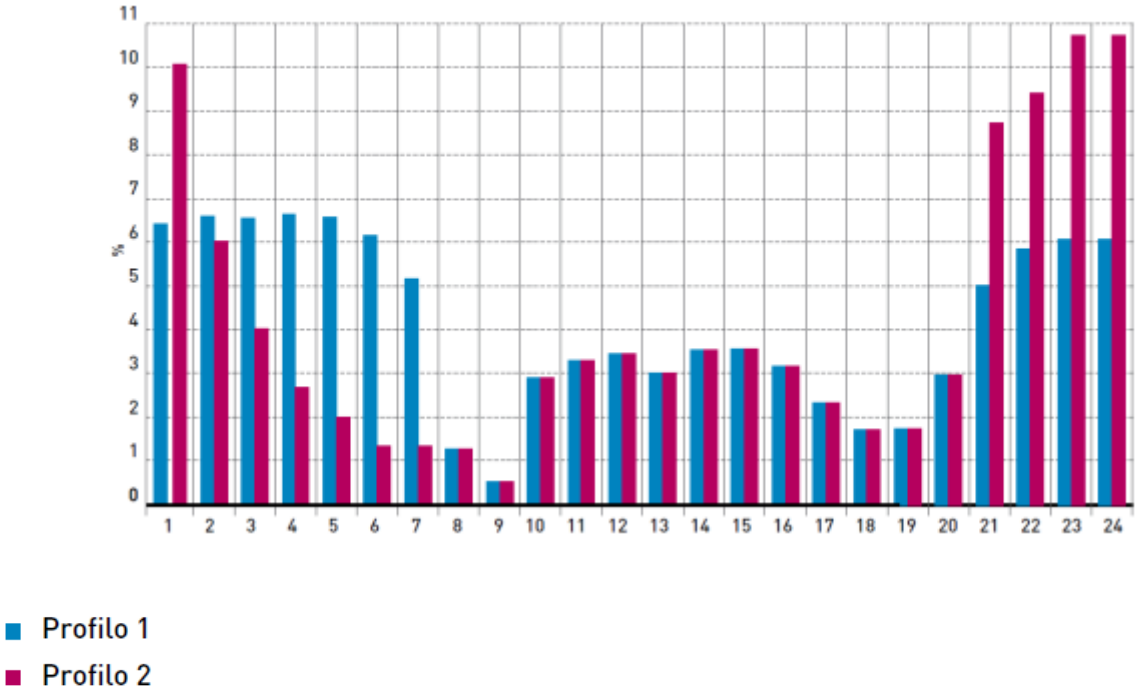


Figura 8: *Profili di ricarica medi del parco auto elettriche considerati nel caso di studio*

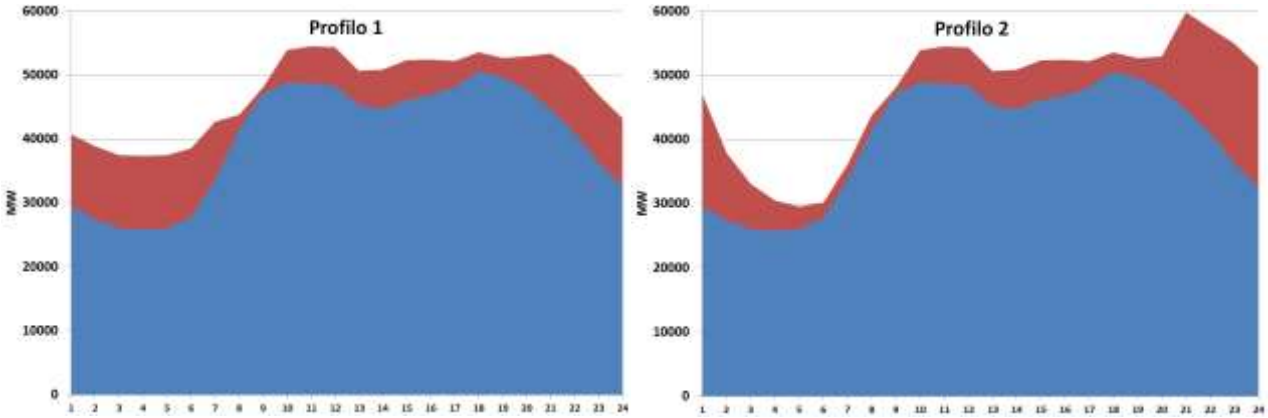


Figura 9: *Esempi di impatto dei profili di ricarica considerati sul carico elettrico di un giorno tipo (in marrone la quota relativa alla ricarica delle auto elettriche)*

Si nota come il Profilo 1 abbia un impatto molto più favorevole del Profilo 2, in quanto determina un profilo complessivo del carico molto più "piatto", e quindi di più semplice gestione da parte del sistema elettrico.

Impatto sulle reti elettriche

A partire dal medesimo scenario, questo capitolo analizza gli effetti della ricarica dei veicoli elettrici sulle reti elettriche della distribuzione, prendendo in considerazione sia le ricariche a bassa potenza "lenta" (qualche ora) sia le ricariche ad alta potenza "veloce" (minori da 15 a 30 minuti). Inoltre, presenta uno studio sui sistemi di accumulo posti nelle vicinanze delle stazioni di ricarica veloce, preferibilmente locate nei distributori di carburante attuali, per renderle adatte a essere connesse anche a reti di Media Tensione (MT) di tipo rurale, turistico oppure alle reti di Bassa Tensione (BT).

Auto di interesse per il sistema elettrico

Per il sistema elettrico sono importanti tutti gli autoveicoli ricaricabili da rete, di tipo PHEV e BEV, in funzione della capacità di accumulare energia e della richiesta di potenza in fase di ricarica. La capacità di accumulare energia influisce sulle esigenze di convertire energia primaria in elettrica; la richiesta di potenza in fase di ricarica interessa le linee di trasporto e distribuzione. Tuttavia, mentre l'impatto sulle reti di trasporto è marginale, essendo marginale l'impatto delle auto elettriche a livello di sistema[57], l'impatto sulle reti di distribuzione è significativo, poiché un'auto elettrica media consuma quasi come una famiglia italiana media[58].

[57] *E... muoviti! Mobilità elettrica a sistema*; RSEview Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA, Editrice Alkes, 2013; ISBN 978-88-907527-3-5 e Benini, Lanati, Gelmini, *Impatto sul sistema elettrico nazionale della diffusione di auto elettriche: uno scenario al 2030*, Energia Elettrica n. 2/2011

[58] Mauri, "Auto Elettrica e Reti Intelligenti", Energia Elettrica n. 1/2010, Febbraio 2010

Infatti, ipotizzando una percorrenza di 15.000 chilometri/anno per auto e un consumo specifico di 150 Wh/km, è possibile stimare i consumi di energia elettrica di ciascuna auto in circa 2.250 kWh/anno, equivalenti al 83% per cento dei consumi della famiglia media italiana (2.700 kWh/anno secondo le stime AEEG).

Consumi di un'auto elettrica che percorre 15.000 km l'anno
15.000 km/anno *0.15 kWh/km = 2.250 kWh/anno

L'introduzione delle auto elettriche nel contesto italiano avviene in uno scenario in cui la misura intelligente è integrata con l'infrastruttura di ricarica e con i sistemi di gestione e di telecontrollo della rete elettrica. Tale integrazione consente di ottimizzare le potenze messe a disposizione dalla rete per la ricarica dei veicoli elettrici, minimizzare i tempi di ricarica e sfruttare al meglio le fonti rinnovabili.

Le auto elettriche infatti potrebbero essere utilizzate per immagazzinare gli eccessi di produzione della generazione rinnovabile, ma anche un carico differibile in caso di scarsità di produzione. Da sempre le reti elettriche della distribuzione sono state pianificate nell'ipotesi che non si abbia la contemporaneità di assorbimento massimo di tutte le utenze; tuttavia questa ipotesi non può essere esclusa nel caso in cui le utenze domestiche si dotino di sistemi di gestione dei carichi tali da permettere la ricarica delle auto elettriche fino a raggiungere la potenza contrattualmente disponibile. Se non regolata, la domanda di ricarica inizierebbe nelle ore del tardo pomeriggio, al ritorno dal lavoro, raggiungendo il suo picco quando la richiesta di potenza per usi domestici è la più elevata, ossia nelle ore serali. Una simile domanda metterebbe a dura prova i trasformatori della maggior parte delle cabine MT/BT. Per questa ragione è necessario un monitoraggio e un controllo più sofisticato e in grado di controllare singolarmente tutti i punti di ricarica di tipo lento anche nei luoghi privati, estendendo ai carichi quanto viene già fatto sempre per i generatori, le cabine secondarie (MT/BT) e le case intelligenti ovvero attraverso una rete intelligente – smartgrid – come mostrato in Figura 10. In questo modo è possibile una "mitigazione" della domanda come indicato in Figura 11, evitando così la sostituzione dei componenti che formano le reti elettriche della distribuzione (cavi e trasformatori). Osservando la figura appare evidente che, mentre senza smartgrid un trasformatore da 160 kVA dovrebbe essere sostituito, nel caso della presenza di una smartgrid risulterebbe ancora sufficiente a soddisfare la domanda.

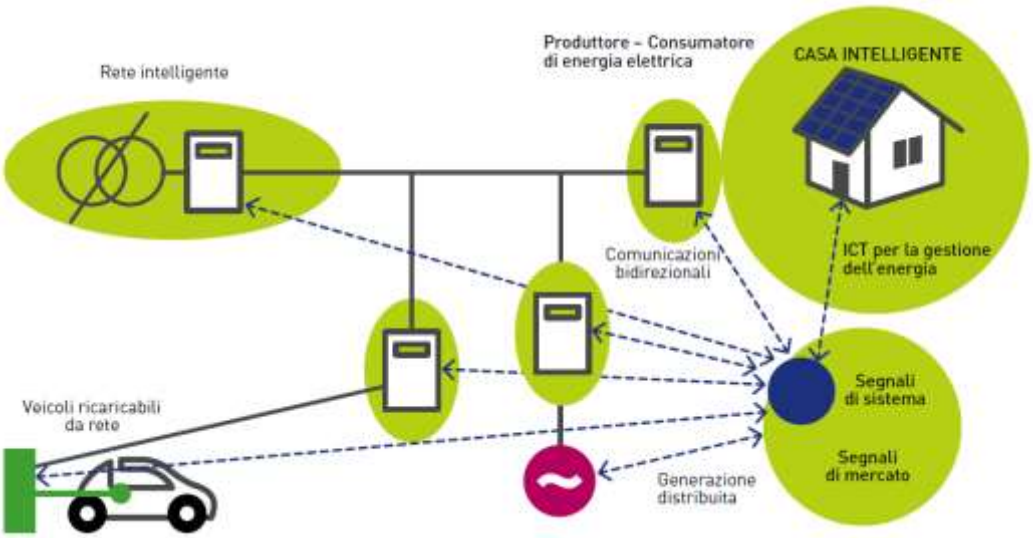


Figura 10: *Sistema di comunicazione bidirezionale per la gestione di una rete intelligente in Bassa Tensione e dei punti di ricarica dei veicoli elettrici.*

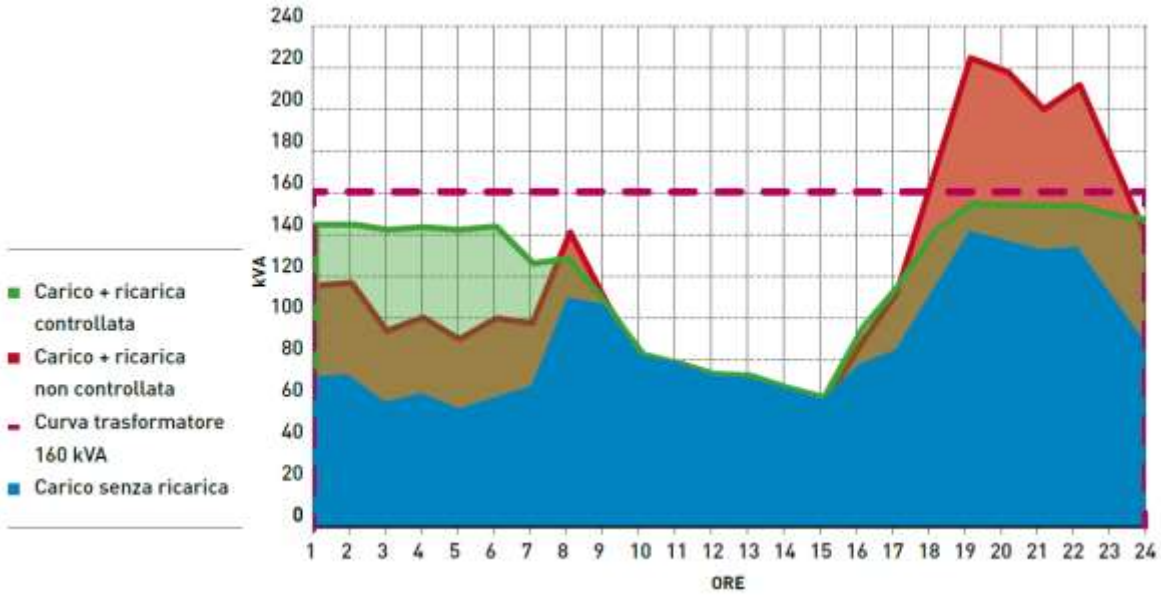


Figura 11: *In azzurro il profilo di carico di una cabina secondaria [kW], in rosso il contributo dovuto alla ricarica dei veicoli elettrici, in verde l'effetto di mitigazione dovuto al controllo di una smartgrid.*

Impatto della ricarica lenta sulle reti BT

La ricarica lenta a bassa potenza (qualche ora) è adatta ai luoghi in cui i veicoli elettrici sostano per periodi medio-lunghi, presso le abitazioni nelle ore notturne, nel luogo di lavoro e nei parcheggi di corrispondenza con altri sistemi di trasporto (ad esempio, stazioni ferroviarie, metro e aeroporti)[59]. Lo scenario presentato analizzato considera che nel 2030 il

[59] Mauri, "Evoluzione dei veicoli elettrici e impatto sul sistema elettroenergetico nazionale". Mobilità e trasporto Elettrico per l'Italia di domani, AEIT Roma 12-13 giugno 2012

64 per cento delle auto elettriche saranno alimentate in modalità lenta nei parcheggi o posti auto privati. È quindi di primaria importanza conoscere gli effetti di tale modalità di ricarica sulle reti di Bassa Tensione direttamente interessate. L'applicativo chiamato "MArgineREte" (MARE) realizzato da RSE, utilizza i dati in possesso delle aziende della distribuzione per calcolare quante auto elettriche possono ricaricarsi da ciascun nodo della rete (hosting capacity) in presenza o in assenza di un sistema di controllo delle ricariche, rispettando i vincoli termici (corrente) e le cadute di tensione ammissibili[60].

La Figura 12 mostra i dati relativi a una linea dorsale. La curva azzurra rappresenta l'effettivo carico della dorsale, calcolato sommando le curve di carico quartorarie dei contatori elettronici sottesi; la curva rossa rappresenta il margine in potenza, calcolato facendo la differenza tra i limiti termici (massima corrente) della dorsale e l'effettivo carico; mentre l'area blu scuro sottesa alla curva rossa rappresenta il margine in energia, ovvero l'energia che potrebbe fluire rispettando i vincoli termici dei componenti[61]. Ai fini della valutazione della hosting capacity, il margine in potenza rappresenta la potenza media oraria che potrebbe tecnicamente essere a disposizione per la ricarica delle EV, mentre il margine in energia rappresenta l'energia settimanale che potrebbe trasformarsi in chilometri percorsi in modalità elettrica dalle EV a patto di sfruttare in ogni istante tutto il margine in potenza disponibile in ciascuna ora. La conoscenza del margine in energia e del consumo chilometrico delle auto elettriche (ovvero tra 125 e 180 Wh/km) permette di calcolare i km equivalenti percorribili in modalità elettrica e successivamente, conoscendo il chilometraggio medio settimanale delle EV, è possibile stimare il numero di EV massimo (teorico) che potrebbe fare riferimento a ciascuna porzione di rete (presa, dorsale e trasformatore). Ai fini della pianificazione di rete, quindi, il margine in potenza dà indicazioni utili a stimare la capacità recettiva della rete in termini di numero di auto oltre il quale non è possibile permettere ricariche non controllate. Il margine in energia dà indicazioni utili a stimare la diffusione di auto oltre la quale non è possibile permettere neppure una ricarica con il supporto di una rete intelligente. Per sfruttare appieno il margine in energia è necessario modulare la potenza massima che le EV possono prelevare dalla rete, quindi modulare i prelievi in potenza agendo sui punti di ricarica delle EV, oltre che in ogni momento disporre di EV in grado di accumulare energia. È quindi indispensabile che ciascun punto di ricarica sia controllato da remoto da un sistema di gestione dell'energia come potrebbe essere una smartgrid; indichiamo quindi questa modalità come Smart Charge. In ultima analisi, dal margine in energia è possibile desumere la diffusione di EV oltre la quale anche il più sofisticato sistema di controllo risulterebbe inefficace, rendendo indispensabile il potenziamento della rete. Oltre al rispetto dei limiti termici dei componenti, è necessario garantire anche una tensione adeguata al funzionamento di tutti i dispositivi, ovvero entro i limiti fissati dalla normativa. A tal fine MARE effettua i load flow e visualizza la tensione per tutti i tratti e i nodi della rete.

---

[60] Mauri, Gramatica, Fasciolo, Fratti, "Impatto Della Ricarica Dei Veicoli Elettrici Sulle Reti Elettriche Della Distribuzione", 21° Convegno Nazionale AEIT 2011, Milano 27-29 giugno 2011.
[61] Ibidem

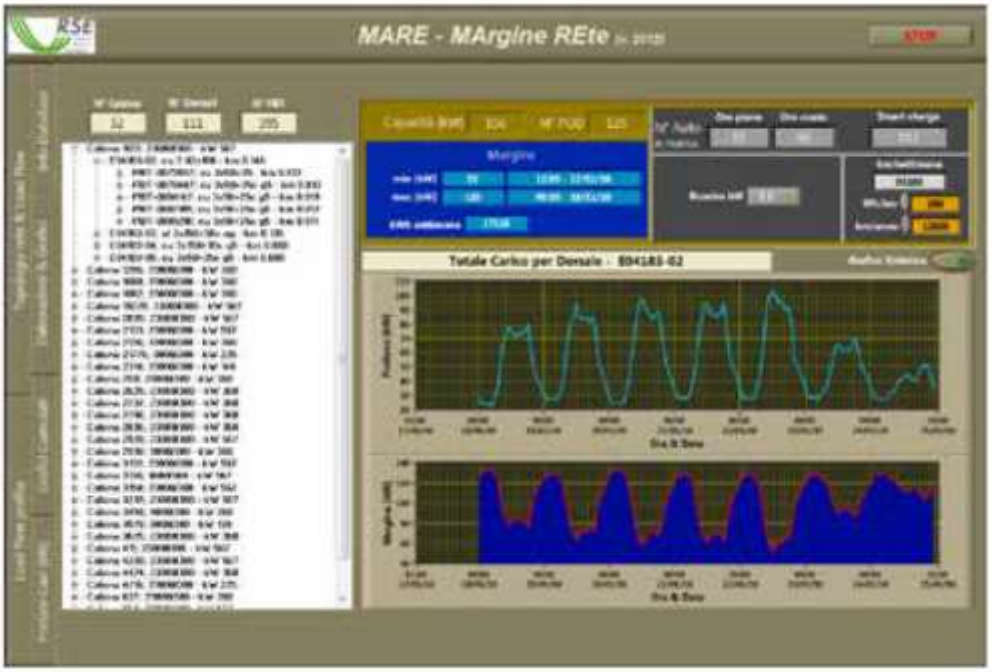


Figura 12: *Sintesi dei dati relativi alla hosting capacity di una linea dorsale*

La Figura 13 mostra una rappresentazione 3D, con una colorazione (progressiva) dal verde al rosso avvicinandosi al limite teorico di accettabilità della tensione di linea fissato al 10 per cento, secondo quanto previsto dalla normativa EN50160. Per la rete studiata, la peggiore tra le circa cinquanta reti delle città di Milano e di Brescia analizzate da RSE, si potrebbero avere problemi di caduta di tensione da trattare con potenziamenti delle dorsali per percentuali di penetrazione di auto superiori al 45 per cento degli odierni punti di consegna. In ogni caso, a parte situazioni di reti BT che già dimostrano sofferenze nei periodi estivi e che già oggi sono attenzionate per via della domanda dei condizionatori, dai dati analizzati da RSE si può concludere che per le città di Milano e Brescia, mettendo in campo le *smartgrid,* la ricarica lenta presso le utenze domestiche non sembra costituire un particolare problema dal punto di vista sia del sovraccarico sia della sotto-tensione.

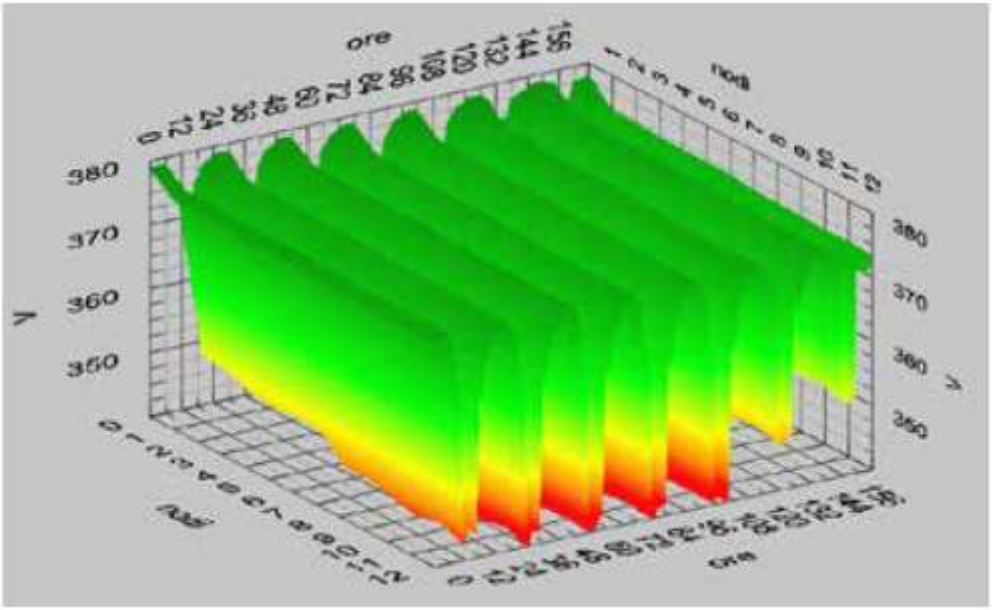


Figura 13: *Analisi di sotto-tensione delle linee BT in uscita da una cabina MT/BT.*

Ricarica con potenza limitata: contratto residenziale da 3,3 kw

Più di un terzo delle unità abitative italiane ha a disposizione un box privato con l'alimentazione elettrica allacciabile direttamente al contatore residenziale[62]. Il box privato potrebbe essere utilizzato come punto di ricarica principale. In questo modo l'auto elettrica può diventare un carico domestico con richiesta di potenza al contatore in competizione con i principali elettrodomestici come la lavatrice, la lavastoviglie, il forno e il frigorifero. Questa situazione diventa critica in Italia dove sono molto diffusi contratti di fornitura con potenza contrattuale limitata a 3,3 kW. In questi casi è possibile evitare l'aumento contrattuale di potenza, risparmiando circa 65 €/anno più iva (differenziale tra contratto da 3,3kW e contratto da 6,6 kW) dovuto ai costi fissi che ammontano a 21.7 €/kWh/anno (come stabiliti dall'AEEGSI per il 4 trimestre 2017), mediante le stazioni di ricarica che possano modulare automaticamente la potenza prelevata dalla rete (con "Power management") ovvero permettere il naturale svolgimento delle vita domestica ed assicurare la ricarica dell'auto elettrica. A tale scopo, grazie alla collaborazione tra RSE e ANIE, alcuni fornitori italiani hanno messo sul mercato delle stazioni di ricarica intelligenti denominate "wallbox con Power management" che permettono appunto la funzionalità appena descritta. Nella successiva Figura 14viene riportato l'intervento del sistema di modulazione automatico della ricarica "power management" in un caso di utenza reale. Si può notare come a fronte del carico dovuto dalla "lavatrice" (linea viola) venga ridotta automaticamente e contestualmente la potenza di ricarica "PEV" (linea ocra) in modo che la potenza prelevata dalla rete "scambio" (linea blu) sia sempre inferiore alla potenza disponibile 3,3 kW (linea tratteggiata verde) eccetto una "spike di potenza" che comunque non supera la potenza di intervento rapido del contatore

[62] Da valutare caso per caso in quanto per connettere l'alimentazione del proprio box al proprio contatore potrebbe essere necessario passare in aree condominiali o private per cui deve essere richiesta l'autorizzazione preventiva.

fissato a 4,2 kW (linea tratteggiata rossa) per un periodo inferiore a due minuti (tempo di intervento del contatore).

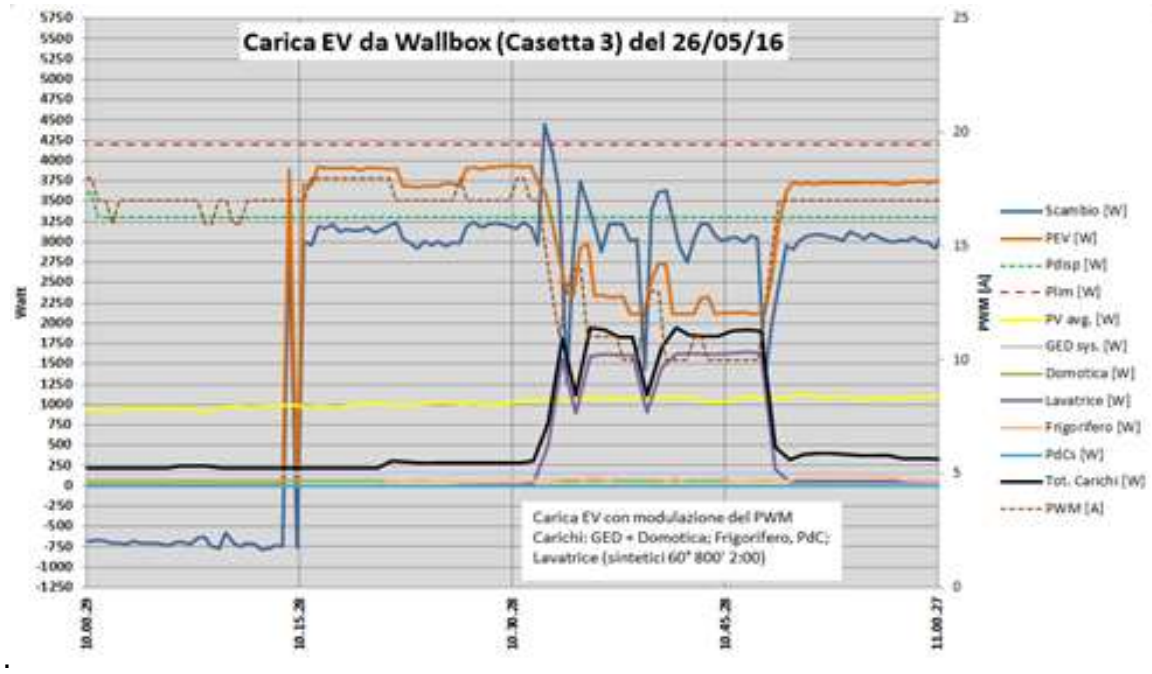


Figura 14: *Carica di un veicolo elettrico con sistema di "Power management"*

Di seguito in Figura 15 si riporta lo schema di installazione di una wallbox con "Power management" in grado di limitare automaticamente la potenza di ricarica per evitare l'intervento del limitatore anche in assenza di altri sistemi di gestione dell'energia.

Figura 15: *Schema di installazione di una wallbox con "Power management"*

Ricarica veloce in stazione di rifornimento "ibrida"

Uno dei fattori che limitano la diffusione dei veicoli elettrici è il tempo di ricarica, inteso come tempo medio per fare un "pieno" di energia che permetta di percorrere una lunga distanza. Per le vetture tradizionali a combustione interna, questo tempo è nell'ordine dei minuti, se non secondi, (dall'apertura alla chiusura dello sportello del serbatoio), mentre può variare da alcune ore (ricarica lenta) a poche decine di minuti (ricarica veloce) per le auto elettriche, in funzione della potenza dell'apparato di ricarica (da pochi kW a decine di kW).

Per ridurre questo tempo sono disponibili sistemi in grado di erogare una potenza massima in corrente alternata (fino a 43 kW in AC) e in corrente continua fino a 50 kW (mentre se ne stanno sperimentando i primi a 350 kW in DC), anche se i costi per questi ultimi permangono elevati. La Figura 16 evidenzia come il trade-off tra costi d'installazione di un sistema di ricarica in corrente continua e diminuzione nel tempo di ricarica portino, in funzione degli attuali prezzi di strumentazione e dispositivi, a un valore ottimo di circa 50 kW di potenza nominale del punto di ricarica DC. Si auspica che, con l'evolversi delle tecnologie e soprattutto con l'abbassamento progressivo dei costi d'installazione, questo limite in DC possa spostarsi notevolmente fino a potenze dell'ordine delle centinaia di kW.

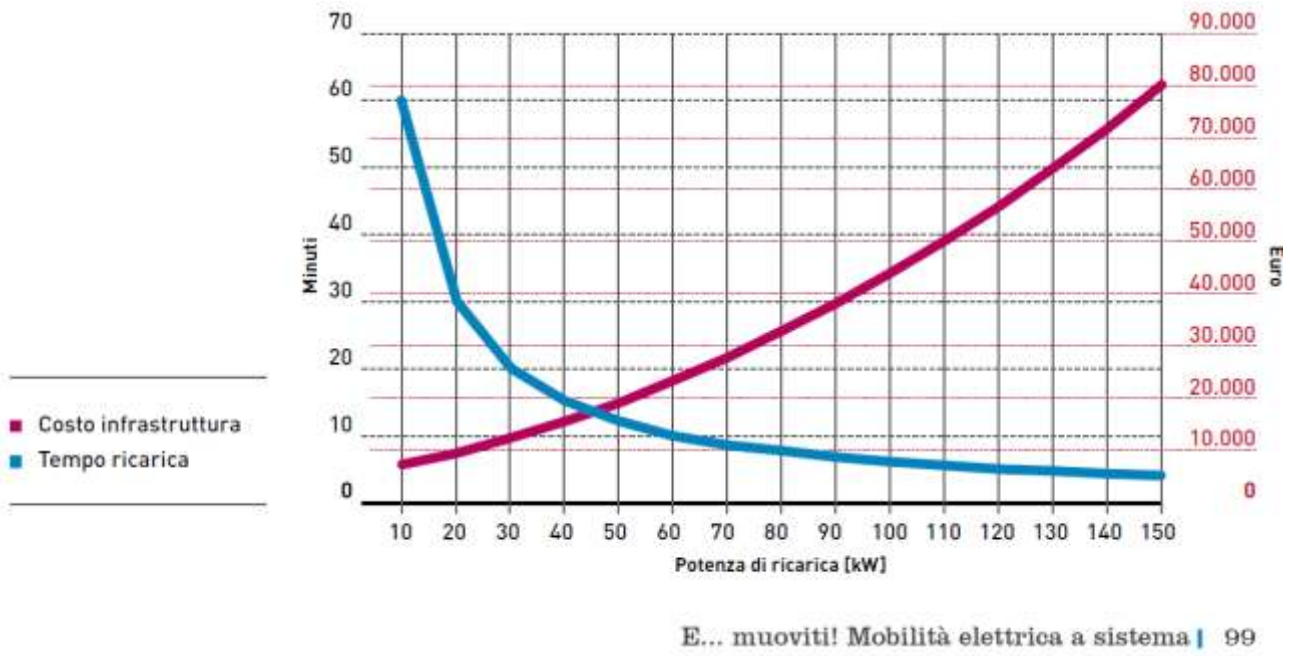


Figura 16: *Costi (indicativi) verso tempo di ricarica in funzione della potenza dell'infrastruttura di ricarica veloce*

Stima della domanda di energia elettrica in funzione degli effettivi km percorsi

A partire dal venduto di carburante annuo di una possibile città metropolitana tipo, assimilata per praticità alla città di Milano comprensiva della sua provincia, si sono calcolati la somma di chilometri percorsi ogni giorno da tutte le auto circolanti: circa 80.000.000 km/giorno. Di tutti questi chilometri percorsi ogni giorno da tutte le auto nella provincia di Milano si è ipotizzato

che una frazione pari al 45 per cento (36.000.000 km/giorno) fosse percorsa in modalità elettrica, equivalente a una richiesta di energia di 5 GWh/giorno. Secondo lo scenario al 2030 considerato, di questa energia una parte viene ricaricata in modalità lenta (circa 3,8 GWh/giorno) e una parte in modalità veloce (circa 1,2 GWh/giorno). Dato che in provincia di Milano ci sono quasi 1.100 distributori che potrebbero ragionevolmente diventare distributori ibridi, ovvero affiancare alle attuali pompe di carburante anche dei sistemi di ricarica veloce, si è calcolato che il distributore medio ibrido della provincia di Milano al 2030 dovrà rifornire circa 1,1 MWh/giorno (120-150 ricariche veloci al giorno con 4 pompe di ricarica veloce)[63]. Il profilo di mobilità presentato in Figura 7 è stato quindi utilizzato per ipotizzare una possibile curva di domanda di ricarica veloce, caratterizzando la domanda media oraria di energia elettrica che le EV richiederanno ai distributori ibridi durante il corso di una giornata. Sono state quindi identificate tre ipotesi di scenario per cogliere il fatto che in alcune fasce orarie vi potrebbe essere una maggiore propensione a effettuare le ricariche veloci:

- profilo1 ("Proporzionale"): ottenuto applicando la sola ipotesi che i rifornimenti (di carburante o di energia elettrica) sono proporzionali nei vari momenti della giornata agli spostamenti dell'intero parco auto;
- profilo2 ("Notte-penalizzata"): durante la notte i rifornimenti sono più sporadici, anche in proporzione ai pochi spostamenti della popolazione;
- profilo3 ("Notte-penalizzata con picchi"): durante le ore centrali del giorno i rifornimenti avvengono in maniera meno frequente rispetto alle ore del mattino e della sera, ossia mentre una buona parte degli automobilisti affronta il tragitto casa-lavoro.

Tenendo in considerazione la potenza di picco richiesta per la ricarica veloce dal distributore medio della provincia di Milano (maggiore di 200 kW) e che le attuali regole richiedono una connessione in MT per potenze superiori ai 100 kW[64], si rende necessaria la connessione di tutti i futuri distributori ibridi alla rete MT. Gli attuali distributori sono stati quindi geolocalizzati rispetto alle linee MT, valutando quali di essi potessero essere allacciati stendendo cavi di lunghezza inferiore a 50/150 e 300 metri. La Figura 17 mostra i distributori situati a una distanza inferiore ai 150 metri da un nodo delle linee MT che originano da una cabina primaria prescelta per lo studio: nel complesso 28 distributori sono stati virtualmente allacciati agli 11 feeder analizzati. L'analisi preliminare dell'impatto dei distributori ibridi connessi alla rete sotto esame fa emergere i seguenti risultati:

- incremento della potenza massima nell'ordine del 5 per cento;
- incremento dell'energia erogata dal trasformatore AT/MT nell'ordine dell'1 per cento;
- limiti di utilizzo del trasformatore largamente non superati.

[63] Mauri, Valsecchi, Fasciolo, Fratti, "Impatto della ricarica veloce sulle reti MT e BT: scenario 2030 per la città di Milano", Mobilità e trasporto Elettrico per l'Italia di domani, AEIT Roma 12-13 giugno 2012
[64] Salvo casi particolari da concordare con il distributore, ma per potenze comunque inferiori a 200 kW.

In base a queste considerazioni risulta evidente che la rete studiata è in grado di provvedere alla potenza e all'energia richiesta per la ricarica rapida. Tuttavia è necessario valutare gli effetti che un aumento localizzato della potenza prodotta può causare sull'abbassamento di tensione nella linea MT. Per questa ragione si sono eseguiti anche dei calcoli di load flow con ipotesi di esercizio reali, ovvero considerando i 4 profili di carico caratteristici:

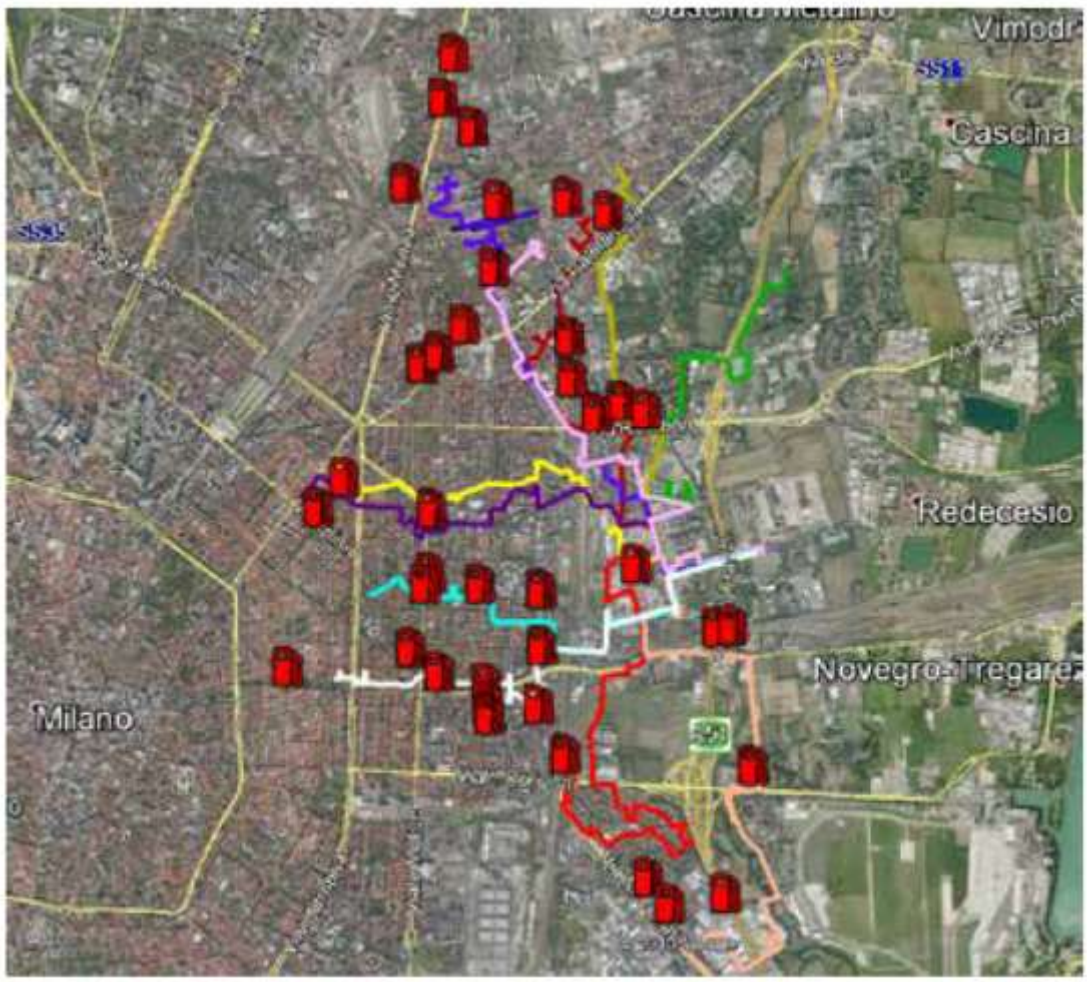


Figura 17: *Geolocalizzazione di una linea elettrica MT e dei distributori di carburante.*

- Cabina secondaria con utenze residenziali;
- Cabina secondaria con utenze terziarie e industriali;
- Utenti MT;
- Distributore ibrido (impianto di ricarica rapida) EV.

Questi profili vengono applicati ai carichi effettivamente installati nei nodi della linea MT, simulando in questo modo il prelievo da rete nell'arco di una giornata[65]. I primi 3 profili di Figura 18 (cabine secondarie e utenti MT) sono rapportati alla taglia dei trasformatori o della potenza disponibile dell'utente MT, mentre la curva relativa alla ricarica dei veicoli elettrici è rapportata al massimo valore di energia richiesta secondo il profilo di Figura 5. Le ipotesi di esercizio considerate sono:

[65] Mauri, Valsecchi, Fasciolo, Fratti, "Impatto della ricarica veloce sulle reti MT e BT: scenario 2030 per la città di Milano", Mobilità e trasporto Elettrico per l'Italia di domani, AEIT Roma 12-13 giugno 2012

- fattore di utilizzo dei feeder sempre al di sotto del 50 per cento (limite imposto per rendere possibile la contro-alimentazione in caso di guasti o manutenzione);
- ogni distributore con ricarica veloce si comporta come un carico puramente passivo con il profilo di richiesta "proporzionale".

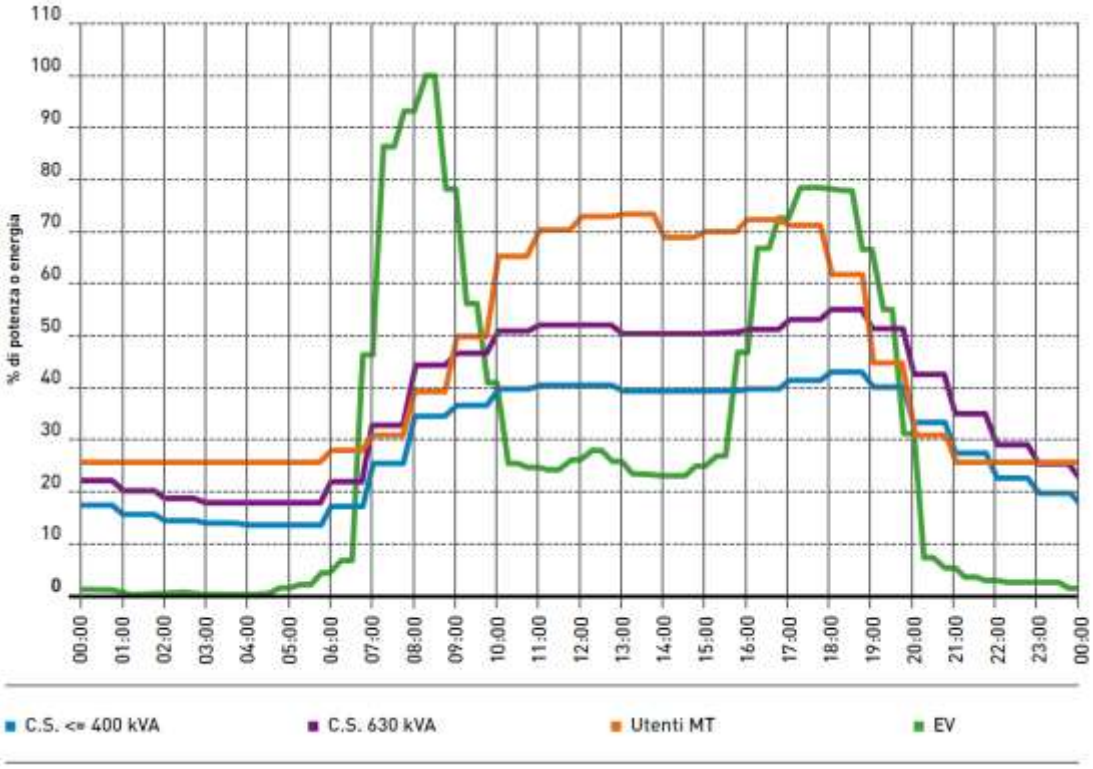


Figura 18: *Curve caratteristiche dei carichi connessi alla rete MT*

A questo punto sono state eseguite simulazioni con un profilo di richiesta (dalla rete da parte dei distributori con ricarica veloce) maggiorato rispetto allo scenario di riferimento al 2030. Questo approccio permette di valutare più precisamente l'impatto nello scenario considerato; alcuni feeder della rete MT studiata si sviluppano in zone periferiche, dove i distributori di carburante hanno un alto numero di pompe ovvero di combustibile venduto giornaliero. Per questo è ipotizzabile che il profilo calcolato come semplice media tra tutti i distributori dell'area in realtà sia sottodimensionato rispetto alla taglia e al flusso di veicoli che interessa i distributori presenti. Si è perciò ipotizzato un prelievo doppio e triplo in energia rispetto al prelievo "base", in modo da porsi in una situazione più coerente con la zona interessata dallo studio. In Figura 19 è presentata l'analisi effettuata sul feeder maggiormente sollecitato dalla ricarica veloce in funzione delle vicinanza a più distributori e la conformazione del feeder stesso (lunghezza, sezioni, numero di nodi). Si nota l'esigua caduta di tensione rispetto al caso base della simulazione. Risulta comunque evidente una proporzionalità tra l'aumento di carico EV e la diminuzione della tensione all'ultimo nodo. Tuttavia, i valori massimi di abbassamento di tensione rimangono fortemente limitati sotto lo 0,5 per cento del valore nominale. Dallo studio emerge il fatto che una rete elettrica urbana di distribuzione con

queste caratteristiche (sezione quasi costante e sovradimensionata per permettere contro-alimentazione) è in grado di soddisfare la domanda di energia elettrica per EV senza violare la direttiva EN50160.

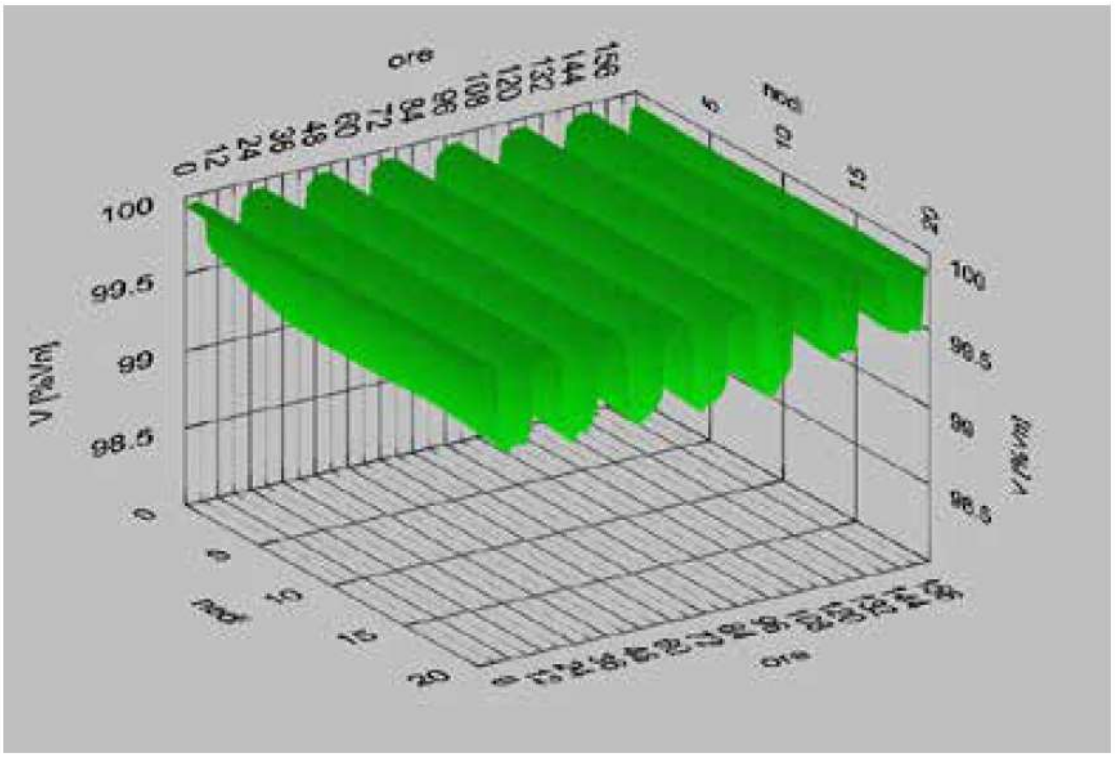
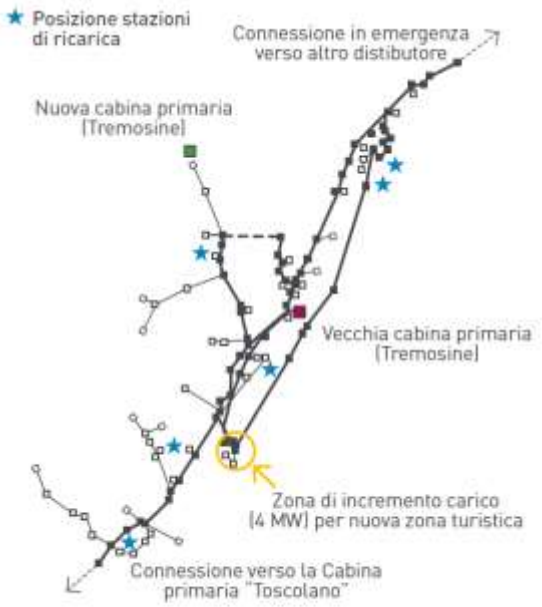


Figura 19: *Abbassamento di tensione nella situazione peggiore con presenza di distributori di dimensione pari a tre volte il distributore medio: valori rapportati alla tensione nominale della rete.*

Impatto della ricarica veloce sulla rete delle zone turistiche o rurali

Gli studi effettuati sulle reti delle zone turistiche e rurali hanno evidenziato risultati molto diversi da quelli ottenuti sulle reti delle aree metropolitane. Il collegamento delle stazioni di ricarica veloce alla rete di distribuzione MT in zone caratterizzate da una marcata fluttuazione stagionale della domanda di energia, come ad esempio le zone rurali o turistiche, può causare significativi impatti e richiede investimenti a carico dei distributori. Al fine della pianificazione delle reti è importante conoscere il profilo della domanda richiesta dalle stazioni di ricarica veloce, che può dipendere anche dalla località. Soluzioni alternative ai necessari rinforzi di rete possono essere ottenute considerando la possibilità di collegamenti alle stazioni di ricarica veloce attraverso l'integrazione di opportuni dispositivi di accumulo. Ciò ha permesso di evidenziare la necessità di una pianificazione specifica (Figura 20) e l'importanza dell'utilizzo di accumuli sulle reti MT (Figura 21)[66].

[66] Cicoria, Celli, Mocci, Pilo, Soma, Mauri, Fasciolo, Fogliata, "Innovative Solutions for Distribution Network Planning", Powertech 2013, Towards carbon free society through smarter grids, Grenoble France, 16-20 June 2013.



E... muoviti! Mobilità elettrica a sistema | 105

Figura 20: *Rete di distribuzione MT modellata in RSE con stazioni di ricarica EV (stelle).*

Figura 21*: Ipotesi di posizionamento dell'accumulo sulla rete MT.*

Conclusioni su impatto rete

L'integrazione dell'infrastruttura di ricarica dei veicoli elettrici con i sistemi di gestione delle reti elettriche di distribuzione intelligenti è indispensabile per permettere una elevata penetrazione della mobilità elettrica.

La ricarica veloce dovrà avvenire in stazioni appositamente attrezzate, che per natura e posizione ben ricalcano gli odierni distributori di carburante che ci si aspetta possano evolvere per diventare stazioni di rifornimento ibride. In uno scenario 2030 il distributore veloce medio urbano dovrebbe rifornire circa 120-150 auto elettriche al giorno. La naturale connessione delle stazioni di rifornimento sono le reti elettriche di media tensione; tuttavia, la collocazione di accumuli di medie dimensioni nelle stazioni di ricarica veloce renderebbe possibile la loro connessione anche "in antenna" sul lato di Bassa Tensione delle cabine secondarie esistenti. In Italia si dovrebbe promuovere la diffusione di infrastrutture di ricarica veloce presso tutte le stazioni di servizio della rete extraurbana (circa 9.500) e di tutta la rete autostradale (quasi 500). La gran parte delle ricariche delle auto elettriche (più del 60 per cento) avverrà nei box e posti auto privati e condominiali e continuerà a essere a bassa potenza (3 kW). Per sfruttare al meglio la possibilità di utilizzare le risorse energetiche rinnovabili e nel contempo garantire in ogni momento la continuità e la qualità della fornitura elettrica, tutti i punti di ricarica delle auto elettriche, pubblici (colonnine), condominiali o privati (wallbox), dovranno essere di tipo intelligente, ovvero controllabili dal sistema di controllo delle smartgrid.

Raffronto costi di vetture omologhe con motorizzazioni diverse dei segmenti A e B

Di seguito si presenta un confronto dei costi di acquisto, esercizio e manutenzione per vetture appartenenti ai segmenti A (Figura 22) e B (Figura 23), simili per allestimento, ma diverse per motorizzazione (Benzina, GPL, Metano, Diesel, Ibride ed Elettriche). Si assume che l'utente percorra in media 12000 km/anno ogni anno, mantenendo costante nell'arco dei 5 anni di possesso la modalità di utilizzo del veicolo sia per gli spostamenti di lavoro che nel tempo libero e che l'utente del veicolo sia un guidatore esperto. Per i consumi si fa riferimento alla modalità di rilevamento definiti per il ciclo di omologazione NEDC (New European Drive Cycle) per una percorrenza di tipo 'combinato', ovvero in ambito sia urbano che extra-urbano riportando i dati indicati sui rispettivi libretti di circolazione. Per quanto riguarda le soluzioni elettriche si prevedono due modalità di ricarica:

- [1] ricarica 80% ricarica con contatore unico domestico; 20% ricarica in ambiente pubblico con tariffa 0,40 centesimi/kWh
- [2] ricarica 100% in ambiente pubblico con tariffa abbonamento-flat "omnicomprensivo"

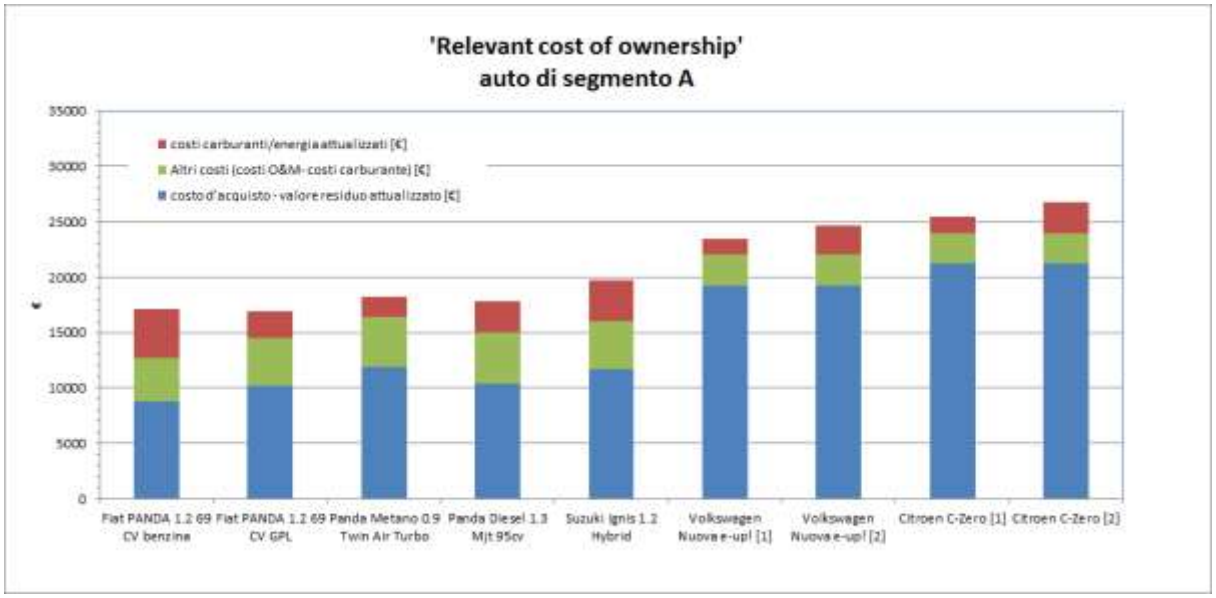


Figura 22: *Costi di possesso e utilizzo di alcune tipologie di veicoli del segmento A diversi per alimentazione e luogo di ricarica (nel caso di veicoli elettrici, 1 prevalentemente domestica, 2 prevalentemente pubblica)*

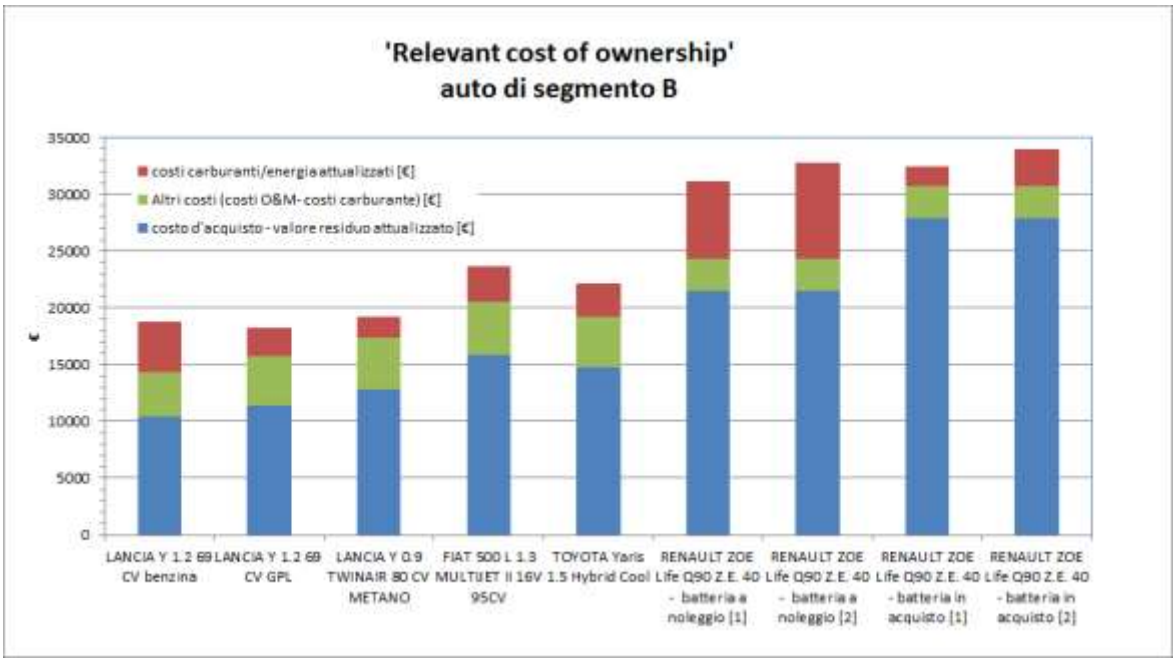


Figura 23: *Costi di possesso e utilizzo di alcune tipologie di veicoli del segmento B diversi per alimentazione e luogo di ricarica (nel caso di veicoli elettrici, 1 prevalentemente domestica, 2 prevalentemente pubblica)*

Le successive Figure 24 e 25 evidenziano le differenze di prezzo delle diverse motorizzazioni rispetto alla soluzione di riferimento a benzina. Si evidenzia come lo scostamento sia marcato per la motorizzazione elettrica pura tra 7000 e 9500 rispetto alla soluzione a benzina mentre sia limitato a un migliaio di euro per la soluzione a metano, a circa 2500 per la soluzione ibrida. Anche la soluzione a gasolio risulta superiore di circa 500€ rispetto la soluzione a benzina, mentre la soluzione a GPL risulta sempre la più economica.

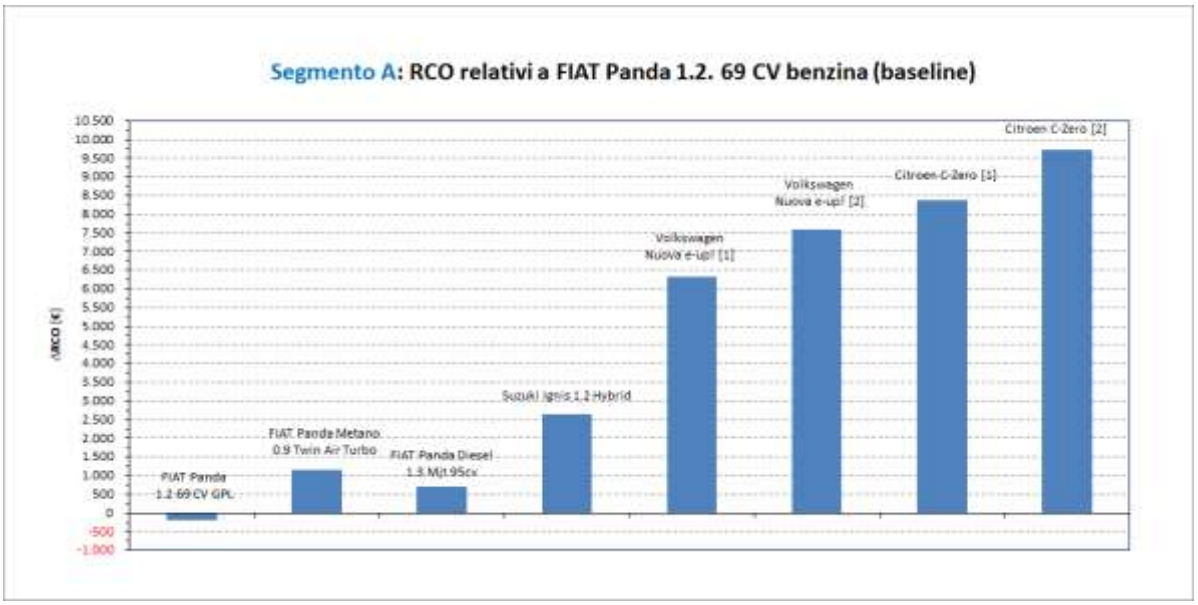


Figura 24: *Differenziale di costo possesso e utilizzo di alcune tipologie di veicoli del segmento A diversi per alimentazione e luogo di ricarica (nel caso di veicoli elettrici, 1 prevalentemente domestica, 2 prevalentemente pubblica) prendendo come riferimento la vettura a benzina*

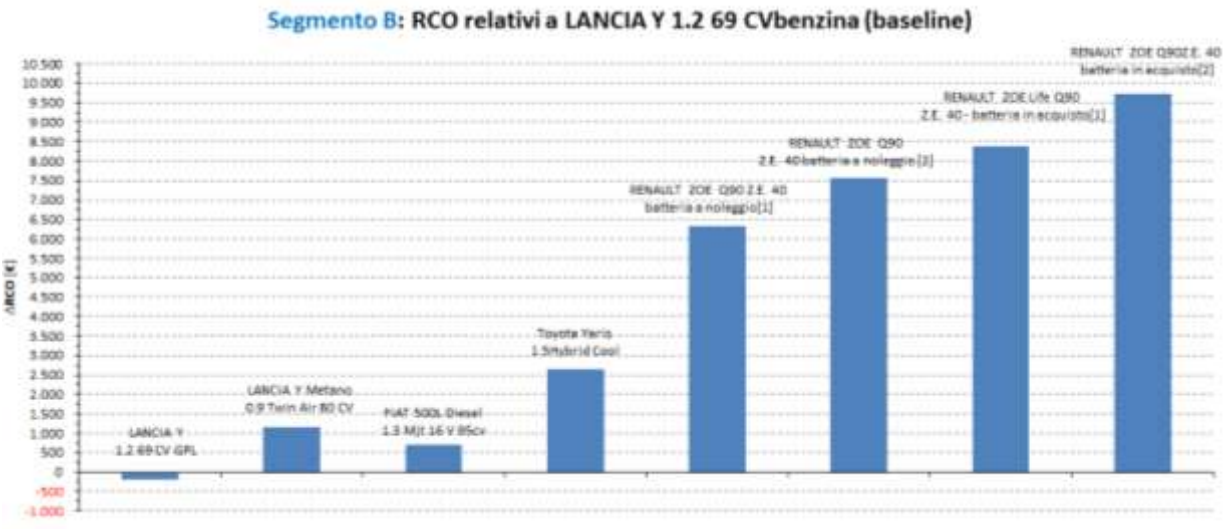


Figura 25: *Differenziale di costo possesso e utilizzo di alcune tipologie di veicoli del segmento B diversi per alimentazione e luogo di ricarica (nel caso di veicoli elettrici, 1 prevalentemente domestica, 2 prevalentemente pubblica) prendendo come riferimento la vettura a benzina*

Emissioni climalteranti da parte delle autovetture

Sebbene al momento le performance ambientali dei prodotti, e tra questi delle auto, abbiano avuto una scarsa influenza sul comportamento degli acquirenti[67] (molti dei comportamenti *green* dei consumatori sono in realtà guidati dalla volontà di risparmiare denaro[68]) queste, ed in particolare le emissioni di gas ad effetto serra, sono al centro delle strategie di sviluppo dell'Unione Europea.

Nel settore auto tali politiche si concentrano sulle emissioni durante l'uso delle vetture, cosiddette tank-to-wheel. Le emissioni climalteranti, tuttavia, iniziano prima dell'uso delle auto. Risultano infatti rilevanti sia quelle legate alla produzione del veicolo che quelle legate alla produzione dei carburanti (o più in generale dei vettori energetici) utilizzati (emissioni well-to-tank). Nella situazione attuale italiana, anche considerando le emissioni well to tank il veicolo elettrico risulta quello con minori emissioni climalteranti. Il grafico in Figura 26 mostra sia le emissioni di gas climalteranti (espresse in gCO_2eq) durante l'uso di un'auto Euro 5 di cilindrata fino a 1.400 cm3 (secondo il database dei fattori emissivi di ISPRA del 2014), sia le emissioni Well-to-Tank elaborate da RSE. Per tutti i combustibili fossili, per i quali è stata considerata la percentuale di biocarburanti attualmente distribuita, il contributo della fase Well-to-tank è rilevante e spazia dal 18% rispetto alla fase di utilizzo del veicolo per il diesel a circa il 30% per la benzina. Se è vero che il considerare anche la fase Well-to-tank avvicina le prestazioni dei veicoli elettrici a quelle dei veicoli alimentati a fonti fossili, si nota comunque come i veicoli elettrici rimangano ben al di sotto delle emissioni delle tecnologie convenzionali. Per i veicoli elettrici, così come per gli ibridi "plug-in", risulta fondamentale

[67] European Commission, Influences on consumer behaviour Policy implications beyond nudging, Final Report, 8 April 2014
[68] Pickett-Baker, J., & Ozaki, R. (2008). Pro-environmental products: marketing influence on consumer purchase decision. Journal of consumer marketing, 25(5), 281-293.

specificare il mix energetico utilizzato per la produzione dell'energia elettrica di ricarica. In Figura 26 si riporta in blu scuro il contributo fornito dall'odierno mix elettrico "medio nazionale", ovvero le emissioni di CO_2eq che si avrebbero caricando un veicolo con il mix medio nazionale, comprese le fonti rinnovabili. La richiesta di energia per la ricarica dei veicoli elettrici può però essere vista anche come una richiesta di energia "aggiuntiva", che avviene in orari specifici (elaborazione RSE su dati EPRI). A tale domanda aggiuntiva il sistema elettrico risponde utilizzando il cosiddetto "mix marginale", che in generale risulta composto da fonti energetiche diverse rispetto al mix "medio nazionale". In particolare, secondo le indicazioni del GME, tale mix è caratterizzato da una minore penetrazione di rinnovabili rispetto al mix medio e ciò implica la presenza di un contributo addizionale di emissioni, riportate in azzurro nel grafico in figura. Nel grafico sono inoltre riportate quelle che potrebbero essere le emissioni della filiera metano a fronte di una decisa penetrazione del biometano (10%)[69] e le emissioni well-to-wheel dei veicoli elettrici in caso di una penetrazione al 50% di fotovoltaico nel mix nazionale. A titolo esemplificativo, sono riportate anche quelle che potrebbero essere due applicazioni di nicchia: un'auto alimentata esclusivamente a biometano (da biomassa residuale) ed un'auto elettrica che utilizzi esclusivamente energia proveniente da pannelli fotovoltaici.

[69] Si noti che, nonostante le filiere di produzione e approvvigionamento del metano e del biometano siano molto diverse tra loro, gli studi indicano valori di emissioni di CO_2eq WTT molto simili nei due casi.

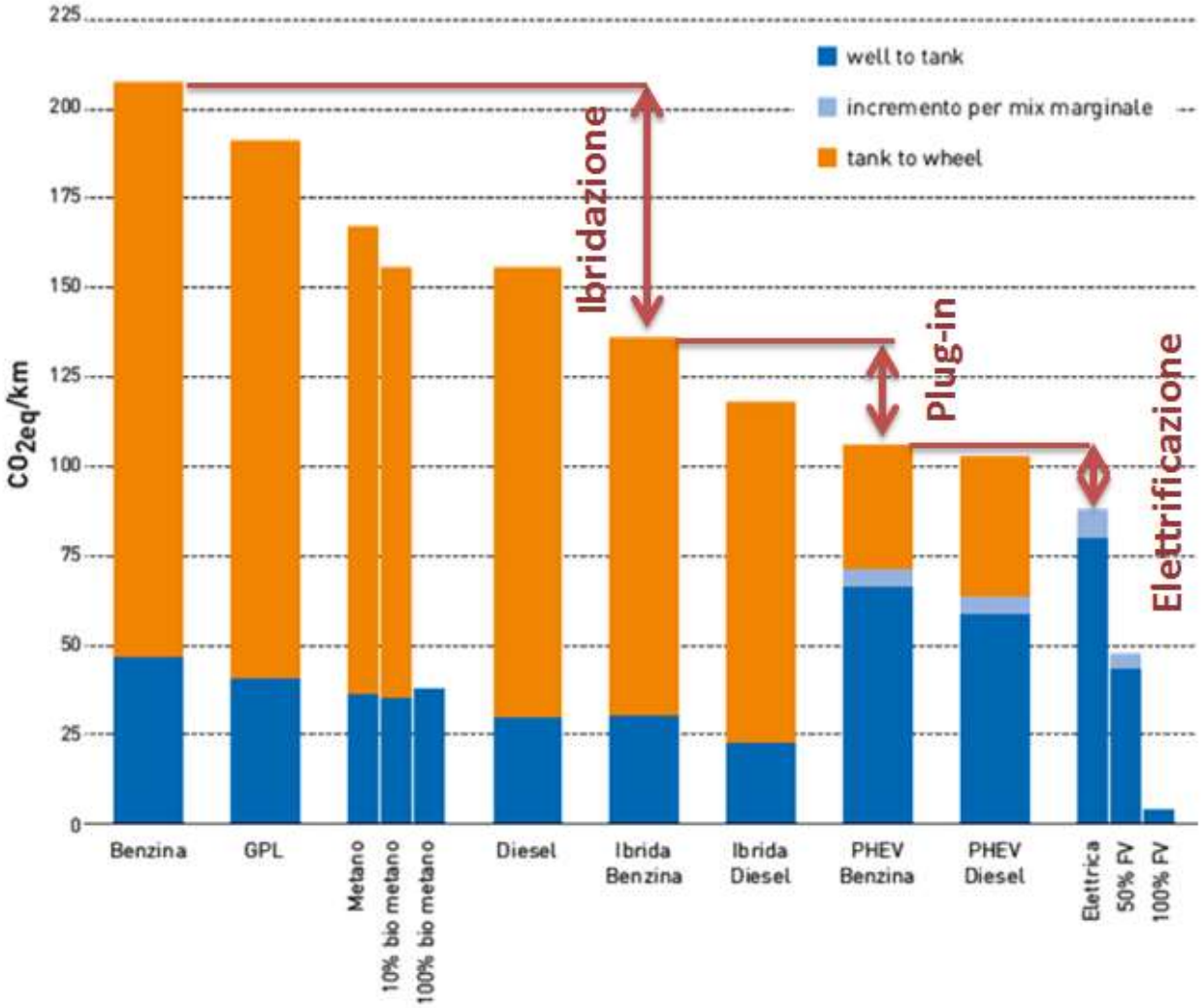


Figura 26: *Emissioni climalteranti well to wheel, suddivise per tecnologia (Fonte: Elaborazioni RSE per veicoli Euro 5 su dati ISPRA, MiSE, EEA e DOE)*

Oltre alle emissioni well-to-tank, come accennato, vi sono le emissioni legate alla costruzione (e dismissione) dei veicoli. Le emissioni climalteranti legate alla costruzione dei veicoli, pur se rilevanti, non sono sostanzialmente diverse per le diverse filiere considerate. Infatti il contributo non trascurabile di emissioni climalteranti legato alla costruzione del veicolo (e della batteria nel caso dei veicoli elettrici), ivi compreso l'approvvigionamento dei materiali, varia, per la costruzione ad esempio di un'auto del segmento C, dai circa 39 gCO_2eq/km per un veicolo diesel a 42 gCO_2eq/km per un veicolo benzina (considerando una vita del veicoli rispettivamente di 210.000 km e 240.000 km, fonte Weymar e Finkbeiner, 2016) fino a circa 46 gCO_2eq/km per un veicolo elettrico (considerando una vita di 230.000 km, fonte: Weymar e Finkbeiner, 2016; Hardwick e Outteridge 2015, Friesen et al., 2015, Saxena et al, 2015). Tali valori dipendono fortemente dal modello di auto considerato, più che dalla tecnologia in sé. Indicativamente, per i veicoli GPL e metano, considerando una vita di 210.000 km, è possibile supporre che le emissioni di CO_2eq relativa alla costruzione dei veicoli siano circa 41 e 48 gCO_2eq/km rispettivamente.

Restringendo il confronto alle solo auto elettriche benzina e diesel, il grafico di Figura 27 riporta il contributo alle emissioni totali di CO_2eq per chilometro percorso per diversi modelli di auto, spaziando dalle city car alle familiari. Come si nota anche considerando la produzione dei combustibili, la produzione delle auto e la produzione delle batterie, le auto elettriche complessivamente portano ad un minore contributo in termini di effetto serra rispetto alle omologhe a combustione interna. Si nota in particolare come il contributo relativo alla costruzione (e dismissione della batteria) sia piccolo, tra il 5 ed il 10% del totale. Volendo stimare un tempo di ritorno di questa extra emissione di CO_2eq, per i veicoli considerati sarebbe di poco superiore ad un anno considerando 15000 km di percorrenza annua.

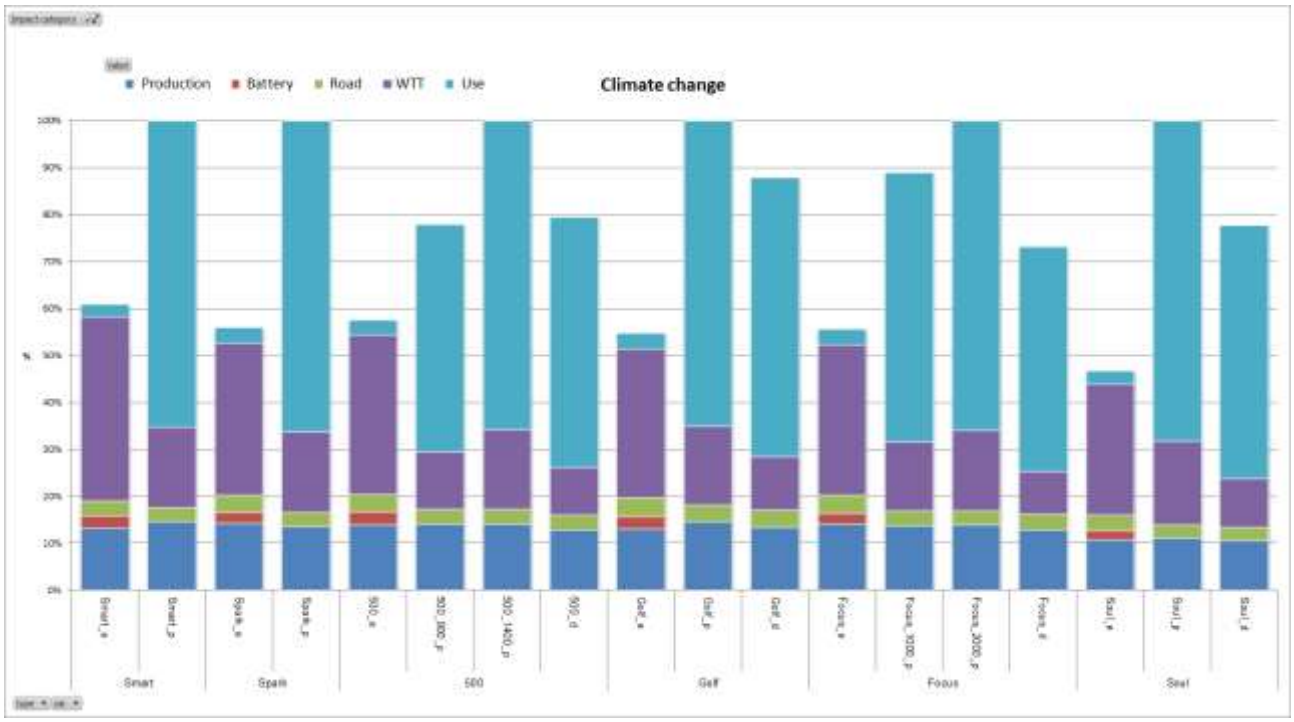
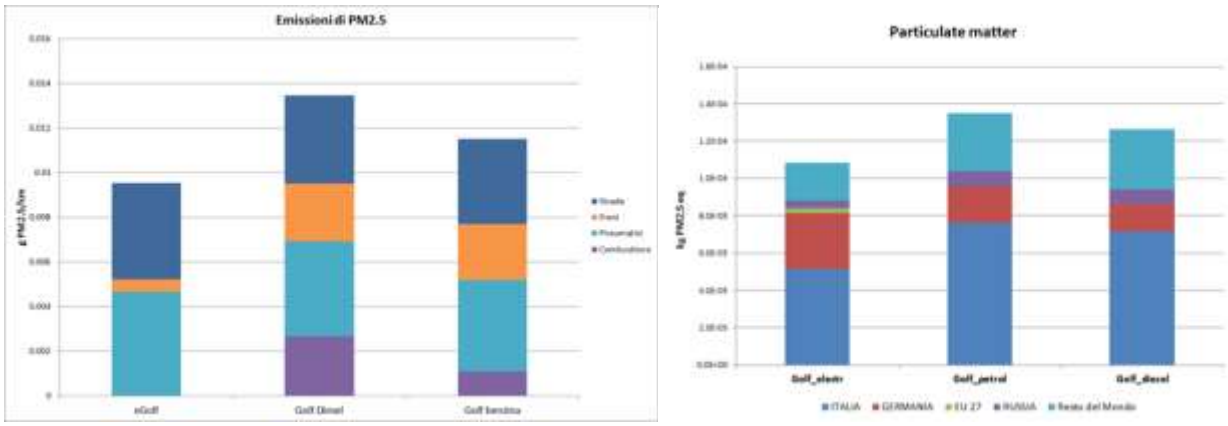


Figura 27: *Emissioni climalteranti nel ciclo di vita di diverse vetture di diversi settori di mercato (Fonte: Rapporto RSE 16002508)*

Se si volessero portare le auto elettriche ad un'autonomia superiore ai 500 km, tale "tempo di ritorno" arriverebbe a 5-7 anni (in confronto a benzina e diesel rispettivamente) in considerazione sia dell'aumento di capacità della batteria, sia dei conseguenti aumenti di consumi.

Ovviamente le auto elettriche comportano dei vantaggi anche per quanto riguarda le emissioni locali di interesse per le aree urbane. Ad esempio hanno un effetto positivo sulle emissioni che contribuiscono alla formazione di ozono troposferico, ma anche sulle emissioni che contribuiscono alla formazione di particolato. Questo sia perché durante la fase d'uso hanno emissioni minori di particolato primario, sia perché considerando l'intero di ciclo di vita hanno minori emissioni di precursori di particolato (primario e secondario) come mostrano i due grafici di Figura 28.



a) b)

Figura 28: *Emissioni di pm 2.5 primario durante la fase d'uso (a) e potenziale totale (calcolato secondo le linee guida JRC sul Life Cycle Impact Assessment) durante tutto il ciclo di vita delle auto, distinto per area geografica di emissione (fonte rapporto RSE 17001872)*

Conclusioni

La mobilità elettrica rappresenta una soluzione tecnologica ancora caratterizzata da alcune criticità, ma offre al contempo interessantissime opportunità per avviare una transizione verso un futuro dei trasporti più sostenibile. I segnali di diffusione delle auto elettriche indicano un rapido incremento delle vendite che perdurerà per tutto il prossimo decennio anche a fronte di alcuni Stati che intendono imporre lo *switch-off* delle motorizzazioni tradizionali e una percentuale di penetrazione minima delle auto elettriche. Da sempre le batterie sono state il fattore che ha ostacolato la diffusione delle auto elettriche. In questo campo la tecnologia è progredita enormemente incrementando la densità di carica, il numero di cicli e la potenza di ricarica, a fronte di un prezzo in costante discesa. Le previsioni indicano che le tendenze di miglioramento delle prestazioni continueranno e che attorno al 2025-2030 le auto a batteria diverranno competitive con auto a combustione interna funzionalmente equivalenti. Anche considerando un possibile quanto irrealistico "switching completo" verso una mobilità elettrica si assisterebbe ad un incremento di domanda in termini di energia del 19%, certamente importante ma equiparabile all'errore delle previsioni che vengono fatte per il medesimo lasso temporale. Dagli studi e dalle simulazioni fatte, considerando la parallela diffusione degli accumuli, anche la ricarica veloce presso le stazioni di servizio con potenza totale cumulata che per brevi periodi può anche essere superiore al MW paio gestibili. Anche la ricarica domestica dei veicoli elettrici nelle situazioni tipiche italiane dei contratti di fornitura residenziali da 3 kW è stata risolta, grazie ai dispositivi di ricarica con "Power Management" già commercializzati. Chiaramente è auspicabile che a tendere tutti i punti di ricarica, pubblici (colonnine), condominiali o privati (wallbox), siano controllati dai sistemi di gestione delle reti elettriche di distribuzione intelligenti, le smartgrid. L'integrazione dell'infrastruttura di ricarica dei veicoli elettrici con i sistemi di gestione delle reti elettriche è considerata indispensabile per sfruttare al meglio la presenza delle risorse energetiche rinnovabili e nel contempo garantire in ogni momento la continuità e la qualità della fornitura a tutti i clienti del sistema elettrico. Le considerazioni

finali sul differenziale di costo per una tipico acquirente italiano di una vettura di segmento A o B, a prezzi settembre 2017, indicano chiaramente che in una prospettiva di possesso per 5 anni e una percorrenza di 60.000 chilometri, il consumatore finale che sceglie il GPL già consegue un risparmio, scegliendo il metano deve preventivare 1.000 euro addizionali, per una soluzione ibrida deve preventivare 2.500 euro in più e per una soluzione elettrica deve considerare da 7.000, se ha la fortuna di poter ricaricare al proprio contatore, e 9.500 euro se deve ricaricare sempre in ambiente pubblico.

Energia e trasporti tra continuità e cambiamento

Alberto Clô[70]

L'esponenziale crescita della ricchezza e del benessere dalla fine dell'Ottocento può ricondursi a tre grande ondate innovative– elettricità, chimica, motorizzazione – rese possibili dal petrolio, che nell'arco di poco più di mezzo secolo avrebbe detronizzato il dominante carbone divenendo la prima fonte di energia consumata nel mondo[71]. Il motore a combustione interna l'avrebbe vinta sull'auto elettrica, nonostante uno dei suoi primi modelli, la *Jamais Contente,* fosse la prima a superare la soglia dei 100 km orari. Il sistema dei trasporti ne sarebbe stato sconvolto – nel 1920 quello stradale americano poggiava ancora su 25 milioni di cavalli – divenendo fattore centrale alla crescita dell'economia mondiale e del mondo dell'energia. Una centralità riemersa ai giorni nostri per tre ragioni.

Prima: la pressione della domanda di mobilità sulla domanda di energia, di cui rappresenta un quinto, in una misura prevista nel prossimo quarto di secolo intorno al 30%. La quasi totalità di questa pressione muoverà dai paesi emergenti con un aumento della loro domanda di trasporto, leggero e pesante, dei due-terzi. Maggior reddito pro-capite, crescita demografica, processi di urbanizzazione, sviluppo delle infrastrutture sosterranno la penetrazione delle auto nei paesi emergenti oggi intorno mediamente a 70 unità per 1.000 abitanti contro le 570 unità dei 32 paesi industrializzati dell'OCSE. Livelli ormai prossimi a livelli di saturazione.

Seconda ragione: la volontà degli Stati dopo l'Accordo di Parigi del 2015 a ridurre le emissioni di anidride carbonica (CO_2), prima responsabile dei cambiamenti climatici, attraverso una 'transizione energetica' che superi il dominio delle fonti fossili oggi intorno all'86% di tutti i consumi verso le nuove rinnovabili (vento e solare in primis) oggi intorno al 3% del totale. In un rapporto, quindi, intorno a 30 a 1.A livello mondiale dopo la generazione elettrica i trasporti sono la principale causa delle emissioni di CO_2 con un quinto del totale. In Europa un quarto, per la metà causato dalle auto. I trasporti sono l'unico settore che dal 1990 in poi ha continuato a segnare un aumento delle emissioni disattendendo gli obiettivi del Protocollo di Kyoto. Per rispettare gli impegni assunti dall'Unione Europea nell'Accordo di Parigi dovrebbero ridursi del 60% entro il 2050.

Terza ragione: l'intrecciarsi di nuove tecnologie (auto elettrica, guida autonoma, *machine learning*) che associate a cambiamenti nelle preferenze dei consumatori sono destinate, si sostiene, a rivoluzionare il mondo dei trasporti. Quale impatto ne deriverà sulla domanda di energia specie su quella di petrolio è l'interrogativo dirimente che attraversa ogni scenario prospettico, proiettandovi una grande incertezza. L'unica cosa certa è che il futuro, si potrebbe dire, non sarà più quello di una volta.

La domanda mondiale di energia proseguirà nella sua crescita e di questa i trasporti saranno il vettore trainante. Dei 96,0 milioni di barili di petrolio consumati ogni giorno nel mondo 60 milioni, cioè i due terzi, sono destinati ai trasporti. Nonostante le profezie sul prossimo picco della domanda di energia essa continua a macinare ogni anno nuovi record, con un'esplosione

[70] Prof. Alberto Clô, Direttore Rivista "Energia".

[71] Per un'analisi delle passate transizioni energetiche si rimanda a Clò A. (2017), *Energia e clima – L'altra faccia della medaglia,* il Mulino: Bologna.

nei paesi emergenti abbondantemente superiore al suo appiattirsi nel mondo industrializzato. Il saldo netto positivo nel 2016 è stato pari all'intero consumo dell'Inghilterra.
Morale: nei passati tre decenni la domanda è quasi raddoppiata portandosi a 13,3 miliardi tonnellate equivalente petrolio (tep)[72]: pari a un consumo ogni secondo di 530.000 litri di petrolio equivalente. La fame di energia nella metà del mondo che non ne dispone l'accrescerà da qui al 2040 grosso modo di un terzo (Tab.2): dietro la pressione di un raddoppio del reddito pro-capite; dell'aumento di un terzo della popolazione; di una crescita della *middle-class* da due a cinque miliardi di persone; dei processi di urbanizzazione che hanno sospinto la percentuale della popolazione che vive negli agglomerati urbani alla metà del totale e destinata a salire ai tre-quarti alla metà del secolo.

Tabella 1 Domanda di energia nel mondo: 1970-2040

AREE		1970	1980	1990	2000	2014	2020	2040
PAESI OCSE	MLD TEP	3,7	4	4,5	5,3	5,3	5,3	5,1
	%	*69*			*54*			*29*
PAESI NON-OCSE	MLD TEP	1,7	3	4	4,5	8	8,9	12,2
	%	*31*			*46*			*71*
TOTALE DOMANDA	MLD TEP	5,4	7	8,5	9,8	13,3	14,2	17,3
	%	*100*			*100*			*100*
Fonte: Elaborazioni su AIE, World Energy Outlook (WEO), anni vari								

Tabella 2 Struttura (%) per fonti - domanda di energia nel mondo: 1970-2040

FONTI	1970	1980	1990	2000	2013	2020	2040
- Solidi	*28*	*25*	*25*	*23*	*29*	*27*	*23*
- Petrolio	*42*	*43*	*37*	*37*	*31*	*31*	*27*
- Gas naturale	*17*	*17*	*19*	*21*	*21*	*22*	*24*
FONTI FOSSILI	87	85	81	80	81	79	74
NUCLEARE	..	3	6	7	5	5	7
Idroelettrica	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*3*	*3*
Biomasse (1)	*11*	*10*	*11*	*10*	*10*	*11*	*11*
Nuove	-	..	..	*1*	*1*	*2*	*6*
RINNOVABILI	13	12	13	13	14	15	19
TOTALE DOMANDA	100	100	100	100	100	100	100
(1)Tradizionali e nuove							
Fonte: Elaborazioni su AIE, World Energy Outlook (WEO), anni vari							

A soddisfare la maggior domanda continueranno a essere prevalentemente, per i tre-quarti, le fonti fossili mentre le nuove rinnovabili verso cui dovrebbe tendere la 'transizione energetica', non andranno oltre un marginale 6% (Tab.3). Conclusione: volenti o no il mondo resterà giocoforza ancora per molti decenni ostaggio di petrolio e metano, anche se dovrà adoperarsi per superarne il dominio. A trainare la domanda sarà in larga parte la crescita della mobilità terrestre. Quella passeggeri continuerà a basarsi sull'uso privato delle automobili, aumentato

[72] Dato tratto da BP Statistical of World Energy 2016.

in Europa nello scorso ventennio di un quinto, soddisfacendo circa l'82% del totale contro il 18% dei mezzi pubblici.

Guardando al futuro dei trasporti l'interrogativo dirimente è la penetrazione delle auto elettriche: quanto a intensità, tempi, costi. Una crescita negli ultimi anni impetuosa ma pur sempre minimale. Le vendite quest'anno dovrebbero assestarsi intorno a 2,0 milioni di unità, pari ad appena il due per mille dell'intero parco veicoli leggeri (commerciali e passeggeri). Prefigurarne l'imminente vittoria sulle auto tradizionali è mediaticamente suggestivo ma privo di senso. Accadrà ma in tempi lunghissimi e a costi elevatissimi. Goldman Sachs ha stimato che una piena elettrificazione dei trasporti richiederebbe investimenti nelle infrastrutture di alimentazione delle auto e nell'*upgrading* della rete elettrica, per evitare che la ricarica di una sola auto metta al buio un intero quartiere, di 6.000 miliardi dollari[73].240 miliardi all'anno per 25 anni. Chi dovrebbe sostenerne l'onere è interrogativo dirimente ma irrisolto.

Morale: farla facile, profetizzando l'impossibile, genera solo false aspettative e incertezza negli attori del sistema, a cominciare dall'industria petrolifera da cui si pretenderebbe che rendesse comunque disponibile la quantità di litri di benzina o di gasolio che si richiedessero come necessari. Quel che non può darsi assolutamente per acquisito. Secondo la Commissione di Bruxelles a metà secolo l'Europa dei motori dovrebbe essere alimentata per l'84% dal petrolio e il 6% dall'elettricità. Che i governi di interi paesi o sindaci di grandi città decidano la messa al bando delle vetture tradizionali tra dieci, venti, trent'anni fa parte della retorica populista tesa a incassare dividendi elettorali più che del mondo delle cose possibili.

Diverse le ragioni che ostacolano la penetrazione della mobilità elettrica. *Primo*: la dimensione del parco veicoli che dai circa 1,2 miliardi attuali – il doppio di quella del 1980 – è prevista raddoppiare nei prossimi due decenni a 2,4 miliardi per l'aumento di tre volte, a 1,5 miliardi, di quelli nei paesi emergenti. *Secondo*: le molte variabili che influenzano le preferenze dei consumatori a iniziare dall'effettiva conoscenza su rendimenti, prezzi, capillarità dell'alimentazione delle nuove auto.

Terzo: le strategie di risposta delle case automobilistiche ei progressi tecnologici nella combustione interna che portano a prefigurare miglioramenti di efficienza dagli attuali 25 miglia per gallone a 45 miglia entro il 2040(+80%)[74] e miglioramenti nei processi di raffinazione e nella qualità ecologica dei carburanti petroliferi grazie anche alla penetrazione dei biocarburanti di nuova generazione. Che il nostro paese ne sia all'avanguardia – senza che le imprese abbiano beneficiato di alcuna forma di sostegno – è motivo di soddisfazione ma anche di perplessità guardando agli immani incentivi destinati alle tecnologie rinnovabili importate dall'estero. *Quarto* ostacolo: i prezzi del petrolio da cui discende la competitività relativa delle due modalità di trasporto. I bassi livelli attuali – che prevedo possano perdurare per lungo tempo – non faciliteranno la transizione all'elettrico. *Quinto*: il costo che ne deriverebbe per le finanze pubbliche che vedrebbero deperire la 'gallina dalle uovo d'oro' dei carburanti che assicurano alle casse dei paesi europei oltre 250 miliardi euro e a quelli OCSE 850 miliardi. Se i governi decidessero di trasferirli sulle auto elettriche molta della loro

[73]Cfr. Goldman Sachs (2017), *From Pump to Plugs*, Equity Reesearch n.17, october
[74]Cfr. ExxonMobil (2017). *The Outlook fo Energy; a View to 2040,*Irving,

supposta convenienza evaporerebbe o aumenterebbe la fiscalità generale ponendo un serio problema politico ai governi.
Non ultimo ostacolo è dato dalle modalità con cui produrre l'elettricità incrementale evitando di replicare l'ipocrito paradosso dell'Olanda che ha conseguito la leadership nella penetrazione elettrica alimentando le auto col carbone! Una loro crescita nel prossimo quarto di secolo a un terzo delle nuove immatricolazioni – da 2 a 25 milioni di veicoli – aumenterebbe dell'8% la domanda elettrica (1.900 TWh) pari a quella congiunta di Francia, Germania, Gran Bretagna, Italia. Con quali tecnologie produrla per contenerne l'impatto carbonico, a quali costi, con quali modalità distribuirla sono domande dirimenti rimaste del tutto inevase.

Tabella 3 Trasporti e domanda di energia 1990-2040

	Energy demand (Mtoe)							Shares (%)		CAAGR (%)
	1990	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2014	2040	2014-40
Transport	1 573	2 622	2 828	2 981	3 119	3 274	3 435	100	100	1.0
Oil	1 477	2 422	2 582	2 682	2 756	2 841	2 915	92	85	0.7
Of which: Bunkers	*202*	*363*	*409*	*447*	*486*	*524*	*564*	*14*	*16*	*1.7*
Electricity	21	26	33	42	54	67	83	1	2	4.6
Biofuels	6	74	95	119	142	167	199	3	6	3.9
Other fuels	69	101	118	138	167	197	237	4	7	3.3

Fonte: IEA, World Energy Outlook 2016, Paris

Conclusione: l'intera domanda mondiale dei trasporti all'orizzonte 2040 – secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE) di Parigi – sarà ancora soddisfatta per l'85% dal petrolio (contro l'attuale 92%), con un aumento in termini assoluti della sua domanda intorno ai 500 milioni tonnellate, quanto, a rendere l'idea l'intera produzione dell'Arabia Saudita[75]. La rimanente quota del 15% sarà soddisfatta per 7 punti da altri combustibili, prevalentemente il gas naturale, che dall'attuale 2% aumenterà al 5%, per 6punti dai biocombustibili e appena 2dall'elettricità. Tanto rumore per nulla. Fosse anche il doppio, le cose non cambierebbero. Profetizzare un 'imminente' sostituzione della mobilità elettrica a quella tradizionale è cosa, in conclusione, fuori dalla realtà.

[75] Si è fatto riferimento al 'New Policy Scenario' che politiche degli Stati in linea con gli impegni presi nell'Accordo di Parigi del 2015.

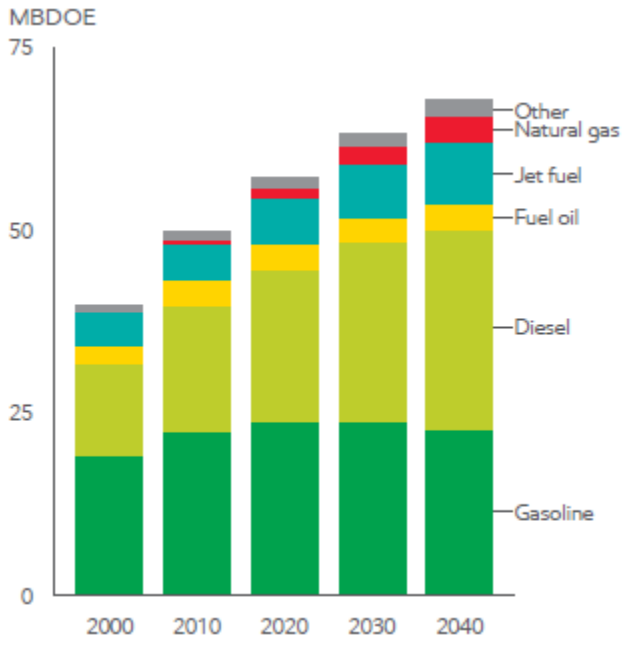


Figura. 1: *Domanda di trasporto per fonte energia (mil.bbl/g petrolio equivalente)*

Avviandomi a concludere, questi i punti che mi preme rilevare:

- una cornucopia di innovazioni – nelle tecnologie, nei comportamenti, nelle politiche – attraverserà il mondo dei trasporti in tempi, intensità, modalità difficili a prefigurarsi;
- queste innovazioni – specie la mobilità elettrica – richiederanno l'impegno di grandi risorse finanziarie con ritorni tutt'altro che garantiti. Farli gravare ex-ante sugli automobilisti con schemi più o meno palesi di sussidi aggraverebbe il costo della mobilità, specie quella privata;
- si richiederà una stretta cooperazione di lungo termine tra industria automobilistica, industria elettrica, industria petrolifera all'interno di cornice programmatica di lungo periodo che definisca puntualmente chi-fa-che-cosa;
- il mondo della mobilità terrestre resterà per un lungo tempo dominato dalle tecnologie tradizionali e dall'impiego dei carburanti petroliferi affiancati da quelli metaniferi, anche nella forma liquefatta[76];
- l'incertezza su questi sviluppi e perentori quanto insensati annunci di messa al bando delle auto tradizionali, potrebbero spingere l'industria petrolifera a tirare i remi in barca dal lato degli investimenti, creando condizioni di scarsità di offerta con un inevitabile forte balzo dei prezzi;
- nel recente '*Scenario di sviluppo del sistema energetico italiano*', elaborato da centri di ricerca nazionali, il livello di elettrificazione nei trasporti è previsto nello 'scenario di riferimento' (andamenti tendenziali) mantenersi al 2%-3% nel 2030 e crescere al 3%-4% al

[76] Ipotizzando una penetrazione nelle auto elettriche al 40% nel 2040 la domanda di petrolio si ridurrebbe di appena 3,5 mil. bbl/g.

2040[77]. Percentuali più elevate richiederebbero politiche aggressive, costose, difficilmente sopportabili;

- prenderne realisticamente atto – evitando fughe in avanti che creano incertezza e sprechi di risorse – è nell'interesse di tutti a iniziare dai consumatori automobilisti.

[77] Enea et, al (2017), *Decarbonizzazione dell'economia italiana – Scenari di sviluppo del sistema energetico italiano,* Rse Colloquia, IV Volume Editrice Alkes