

*E... muoviti!
Mobilità elettrica
a sistema*



RSEview

RIFLESSIONI SULL'ENERGIA

E... muoviti!
Mobilità elettrica
a sistema

Copyright © 2013 Editrice Alkes

Autore: Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA

Impaginazione e editing: Editrice Alkes

Copertina: Fabio Lancini

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, archiviata, memorizzata o trasmessa in qualsiasi forma o mezzo, se non nei termini previsti dalla legge che tutela i diritti d'autore.

L'autorizzazione alla riproduzione dovrà essere richiesta a RSE

Via Rubattino 54 – 20134 Milano – Italia

Finito di stampare nel mese di Novembre 2013 presso

Società Cooperativa Sociale Il Melograno

Via Raffaello Sanzio 42/44 – 20021 Cassina Nuova di Bollate (MI)

Prima edizione

ISBN 978-88-907527-3-5



Premessa

E... muoviti!

Dopo aver affrontato, con qualche fortuna, il tema delle pompe di calore abbiamo voluto orientare questo quarto numero delle monografie di RSEview verso un argomento che ha alcune caratteristiche in comune con il precedente ed in particolare la potenziale ampia diffusione verso gli utenti finali e la capacità di spostare quantità significative di energia primaria verso il settore elettrico. Il tema è, ovviamente, quello della mobilità elettrica.

È un argomento che si presta a *letture* assai diversificate, da quella strettamente tecnologica (autovetture, sistemi di accumulo e tecnologie di ricarica) a quella quasi prettamente sociologica legata alla capacità di mutare i modelli comportamentali degli utenti o lo scenario urbano in termini di qualità dell'aria, diminuzione del rumore e nascita di un nuovo ecosistema infrastrutturale.

Questa monografia cerca di offrire una sezione del tema che, prendendo le mosse da studi e ricerche svolte da RSE in questi anni permetta di tracciare un quadro ragionato dei punti di forza di questa tecnologia e della adeguatezza del nostro sistema elettrico nell'inserirla.

Giova infatti ricordare che una delle barriere alla diffusione di tecnologie per la mobilità basate su fonti diverse dai tradizionali combustibili fossili è spesso l'indisponibilità di una rete di distribuzione della fonte o del vettore energetico. Questo non è certamente il caso della mobilità elettrica che può basarsi su una infrastruttura e su tecnologie ben consolidate.

Appare anzi come una opportunità quella legata alla comparsa nel sistema di una tecnologia in grado di giocare il ruolo di accumulo diffuso.

Soprattutto un aspetto che viene qui approfondito è quello dei diversi modelli di business che si possono immaginare rispetto all'ingresso delle utility nel mercato della mobilità, aspetto che, come è facilmente intuibile, avrà un ruolo non marginale nel definire il potenziale di successo di questa tecnologia.

Recentemente RSE ha sviluppato una collaborazione anche con una importante rivista del settore automobilistico (*Quattroruote*) per sviluppare un osservatorio diretto e competente sullo sviluppo di mercato di una componente fondamentale della mobilità elettrica...l'autovettura. Tutto questo non certo con la pretesa di contribuire allo sviluppo delle autovetture ma per porsi nelle condizioni ottimali per sviluppare gli scenari di previsione dell'impatto che la loro diffusione avrà sul sistema elettrico. Sarà uno sviluppo *push and pull* con il *push* delle società automobilistiche ed il *pull* delle richieste

Premessa

dell'utente. È importante che il sistema elettrico possa configurarsi in maniera trasparente all'utente finale per permettere la più rapida diffusione possibile delle soluzioni meglio accettate dagli utenti.

Facile dire che certamente la mobilità elettrica ha le potenzialità per cambiare il paradigma del trasporto privato nelle aree metropolitane. Difficile dire in quanto tempo.

Stefano Besseghini

Amministratore Delegato RSE



Credits

COORDINATORE DELLA MONOGRAFIA

Giuseppe Mauri. Laureato nel 1995 in Ingegneria Nucleare presso il Politecnico di Milano, consegue il dottorato di ricerca in Ingegneria dei sistemi critici nel 2000 presso il dipartimento di Computer Science dell'Università di York (GB). Si è occupato di progetti di ricerca nell'ambito del telecontrollo, automazione di rete, contatori elettronici, gestione dell'energia. Attualmente è il responsabile del progetto di ricerca Mobilità elettrica di RSE.

CONTRIBUTI DI:

Michele Benini. Laureato nel 1987 in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Bologna, si è occupato di progetti di ricerca nell'ambito dell'intelligenza artificiale, della liberalizzazione e simulazione dei mercati elettrici e degli studi di scenario dei sistemi elettro-energetici. Attualmente è il responsabile del Gruppo di Ricerca Scenari del Sistema Elettrico nel Dipartimento Sviluppo dei Sistemi Energetici di RSE.

Silvia Celaschi. Laureata nel 1986 in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Milano. Ha lavorato presso il CESI e poi in CESI Ricerca, trasformatosi successivamente in RSE. Ha maturato esperienze nel campo della Compatibilità Elettromagnetica, svolgendo prove e studi in tale settore. Attualmente lavora nel Dipartimento Tecnologie di Trasmissione e Distribuzione di RSE occupandosi di Mobilità elettrica.

Filippo Colzi. Laureato nel 2010 in Ingegneria Energetica presso il Politecnico di Milano, si occupa di progetti di ricerca nell'ambito della mobilità elettrica, in particolare dei temi della mobilità sostenibile nelle Smart City e di soluzioni innovative nell'ambito dell'architettura della trazione ibrido-serie.

Michele De Nigris. Laureato nel 1983 in Ingegneria Elettrotecnica presso l'Università di Genova, si è occupato di prove e studi su componenti elettrici di trasmissione e distribuzione. È stato responsabile del progetto Veicolo elettrico dal 2009 al 2012. Attualmente è direttore del dipartimento Tecnologie di Trasmissione e Distribuzione di RSE.

Iva Maria Gianinoni. Laureata in Ingegneria Nucleare presso il Politecnico di Milano nel 1981, specializzata in fotochimica laser al Max Planck di Monaco di Baviera, ha lavorato presso il CISE nel campo dei sistemi di misura elettroottici per il settore elettro-energetico e spaziale. Nel Dipartimento Tecnologie T&D di RSE si è occupata del coordinamento operativo del primo triennio del progetto di ricerca sulla mobilità elettrica. Attualmente coordina il supporto fornito da RSE alle attività internazionali sulle Smart Grids.

Pierpaolo Girardi. Laureato nel 1999 in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso il Politecnico di Milano, si è occupato di progetti di ricerca nell'ambito della sostenibilità del sistema energetico, della quantificazione delle esternalità ambientali e dell'analisi del ciclo di vita per il settore elettrico. Attualmente è ricercatore presso il Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche di RSE.

Credits

Valter Martinotti. Laureato in Chimica nel 1985 presso l'Università degli Studi di Pavia, ha maturato numerose esperienze in società del settore elettrico (ENEL-DSR, CESI, CESI RICERCA ed ERSE), in particolare nello studio dell'impatto ambientale degli impianti di produzione. Attualmente è il responsabile del Gruppo di Ricerca Misure e Tecnologie Ambientali del Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche di RSE.

Enrica Micolano. Laureata in Ingegneria Elettrica presso l'Università degli Studi di Pavia nel 2004, si occupa di progetti di ricerca nell'ambito delle tecnologie di accumulo elettrico e della generazione distribuita. Dal 2006 è responsabile del Laboratorio Prove Batterie di RSE.

Guido Pirovano. Laureato in Ingegneria Ambientale nel 1995 presso il Politecnico di Milano svolge la sua attività di ricerca nel campo della modellistica numerica applicata allo studio della qualità dell'aria nell'ambito di progetti di carattere nazionale e internazionale. Attualmente è in forza al Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche di RSE.

Giuseppe Maurizio Riva. Laureato in Fisica nel 1987 presso l'Università degli Studi di Milano, si è occupato di studi sull'inquinamento atmosferico (meteorologia, inventari emissioni e modellistica) sia nel campo della ricerca sia in numerosi studi di impatto ambientale. Attualmente è il responsabile del Gruppo di Ricerca Meteorologia, clima e atmosfera del Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche di RSE.

INOLTRE SI RINGRAZIANO:

Marcella Balordi, Alessandra Balzarini, Danilo Bertini, Cristina Cavicchioli, Rocco Cicoria, Paolo Gramatica, Fabio Lanati, Renato Urban

Indice

	Sommario	9
Capitolo 1	Foreword	13
	Introduzione	17
Capitolo 2	Le città intelligenti e la mobilità elettrica	21
2.1	Smart city: concetto e caratteristiche	22
2.2	Smart mobility: soluzioni e servizi innovativi per la città	24
2.3	Veicoli a basse emissioni e di dimensioni ottimizzate	29
2.4	Il ruolo della mobilità elettrica	31
2.5	Conclusioni	34
Capitolo 3	Impatto sul sistema elettro-energetico	35
3.1	Scenario di penetrazione delle auto elettriche al 2030	35
3.2	Profili di ricarica	38
3.3	Modelli di simulazione	41
3.4	Assunzioni di scenario	42
3.5	Risultati delle simulazioni di scenario	43
Capitolo 4	Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita	47
4.1	Emissioni e costi esterni a confronto	47
4.2	La qualità dell'aria	56
4.3	Green economy e materiali strategici	66
Capitolo 5	Batterie, infrastrutture e tecnologie di ricarica	71
5.1	Le prestazioni delle batterie per veicoli elettrici	71
5.2	Tecnologie di ricarica per veicoli elettrici	76
5.3	Ricarica conduttiva in AC	77
5.4	Ricarica conduttiva in DC veloce (o rapida)	80
5.5	Ricarica induttiva	81
5.6	Battery swap	83
5.7	Principali caratteristiche del processo di ricarica: modi, prese e spine	84
5.8	Situazione normativa europea a inizio 2013	88
5.9	Conclusioni	91
Capitolo 6	Impatto sulle reti elettriche	93
6.1	Auto di interesse per il sistema elettrico	93
6.2	Sinergie con il sistema elettrico	95
6.3	Impatto della ricarica lenta sulle reti BT	96
6.4	Ricarica veloce in stazione di rifornimento ibrida	99
6.5	Impatto della ricarica veloce sulle reti delle zone turistiche o rurali	105
6.6	Accumulo nelle stazioni di ricarica pubbliche	106
6.7	Conclusioni	107

Indice

Capitolo	7	Promuovere la diffusione della mobilità elettrica	109
	7.1	Imposizioni tecnico-ambientali	110
	7.2	Facilitazioni funzionali	111
	7.3	Agevolare la ricarica	112
	7.4	Valorizzare i pregi del veicolo elettrico	114
	7.5	Facilitazioni economiche	115
	7.6	Conclusioni	117
Capitolo	8	Conclusioni	119
		Bibliografia	121

Sommario



Sulle nostre strade circolano poche auto elettriche, ma il loro numero sta sensibilmente aumentando, di pari passo con la riduzione del prezzo di acquisto. Si tratta di modelli piacevoli da guidare e che portano benefici in termini ambientali, economici e sociali, sia a livello locale sia globale; proprio quei benefici legati al settore energia sui quali l'Europa sta investendo.

In sinergia con le trasformazioni in corso nei sistemi elettrici, in particolare con la sostituzione delle fonti di energia tradizionali a favore delle fonti di energia rinnovabile, l'Europa promuove anche l'incremento dell'uso di energia elettrica nel settore dei trasporti. I veicoli elettrici come tram e treni sono una consuetudine; tuttavia, per soddisfare gli obiettivi fissati per il 2050, è indispensabile una importante riduzione delle emissioni di CO₂ e di inquinanti anche per le tradizionali autovetture. La diffusione di un cospicuo numero di autovetture elettriche andrebbe proprio nella direzione auspicata a livello europeo.

In passato, lo sviluppo dei veicoli elettrici è stato ostacolato dalla mancanza di batterie con prestazioni adeguate, mentre oggi sono disponibili batterie al litio in grado di ricaricarsi in meno di un'ora fino all'80 per cento della capacità massima (10 minuti nel caso delle batterie con anodo al titanato). Per la fine di questo decennio si prevede inoltre un aumento all'incirca doppio delle prestazioni (energia e potenza specifica anche maggiori di 300 Wh/kg e 5.000 W/kg e vita superiore a 5.000 cicli), oltre ad una forte riduzione dei costi (dagli attuali 500-600 euro/kWh a 150-200 euro/kWh), di fatto riportando il costo di una piccola utilitaria elettrica al livello di un'omologa con motore a combustione interna.

I più recenti modelli di veicoli elettrici immessi sul mercato hanno consumi compresi tra i 120 e i 150 Wh/km; considerato che la media europea delle percorrenze giornaliere nel 75 per cento dei casi

si attesta sotto i 50 km, si ottiene un fabbisogno giornaliero di energia di 6-8 kWh per autovettura il giorno. I veicoli possono essere ricaricati nel proprio box, posto auto o garage, installando un semplice dispositivo di ricarica (ricarica monofase 3 kW-lenta) e nei parcheggi aziendali attrezzati durante le lunghe soste, ma anche in tempi minori di un'ora alle colonnine di ricarica pubblica nei centri cittadini (ricarica trifase fino a 22 kW-veloce).

Ad oggi la gran parte delle ricariche delle auto elettriche avviene di notte, nei posti auto privati e condominiali, e si prevede che anche in futuro circa il 70 per cento delle auto continuerà ad utilizzare questa modalità, richiedendo pertanto due o tre ricariche lente la settimana. Tuttavia, per raggiungere la parità di modi d'utilizzo con le auto con motore a combustione interna sarà necessario, oltre che aumentare l'autonomia delle auto elettriche, attrezzare le attuali stazioni di servizio con sistemi di ricarica veloce, ovvero ricarica trifase a 43 kW in AC oppure ricarica in corrente continua maggiore di 50 kW. In questo modo, le odierne stazioni di servizio diventerebbero stazioni "ibride" cioè dotate sia di pompe per carburanti per veicoli convenzionali sia di punti di ricarica veloce per veicoli elettrici. Con tali livelli di potenza la batteria dei veicoli oggi disponibili è ricaricata almeno all'80 per cento della propria capacità in 15-30 minuti e già si sperimentano nuove tecnologie di batterie e potenze di centinaia di kW in grado di garantire tempi di ricarica inferiori ai 5 minuti, del tutto comparabili con i tempi necessari per il rifornimento delle auto convenzionali.

La possibilità di modulare le ricariche dei veicoli elettrici, quando risultano connessi alla rete per lunghi periodi, è una importante risorsa a disposizione dei sistemi di controllo delle reti elettriche per meglio bilanciare l'aleatorietà delle fonti di energia rinnovabile. Tutti i punti di ricarica delle auto elettriche, sia pubblici (colonnine) sia condominiali o privati (*wallbox*), dovranno quindi essere di tipo *intelligente*, ovvero controllati direttamente dal sistema di controllo delle smart grid. Diversi scenari di diffusione delle auto elettriche sono stati valutati e sono già considerati nelle fasi di pianificazione, potenziamento e gestione delle reti elettriche della distribuzione. Il sistema elettrico si sta preparando a fornire un adeguato supporto.

I risultati delle simulazioni di scenario effettuate portano a concludere che anche una penetrazione di auto elettriche estremamente ottimistica (un'auto su quattro ricaricabile da rete al 2030) avrà un impatto minimo sullo sviluppo e sull'esercizio del sistema di generazione, pur determinando effetti positivi sulle emissioni di CO₂ complessive, sui consumi di combustibili fossili e sui relativi esborsi economici.

Sommario

Per quanto riguarda le emissioni complessive di inquinanti in atmosfera, nello scenario con i veicoli elettrici si stima una significativa riduzione delle emissioni di ossidi di azoto, mentre in termini di concentrazioni nell'aria ambiente si stimano riduzioni sia del biossido di azoto sia del particolato fine. Le analisi effettuate mostrano che la conversione verso la mobilità elettrica è particolarmente appropriata, in quanto interviene in modo più efficiente proprio sugli inquinanti presenti in concentrazioni maggiori, in particolare nelle aree urbane, più densamente popolate.

Le auto elettriche si differenziano dalle tradizionali anche per la presenza di “materiali strategici” all'interno delle batterie e del motore elettrico. I materiali che costituiscono le batterie a litio-ioni sono in verità facili da reperire, essendo il litio molto diffuso in natura. Quasi il 50 per cento delle riserve disponibili commercialmente sfruttabili è però concentrato in Bolivia, e ciò potrebbe creare, in futuro, seri problemi di approvvigionamento. Il riciclaggio delle celle che compongono le batterie è dunque fondamentale ed è tecnicamente possibile e già effettuato; è però ancora limitato perché il valore economico dei materiali di cui sono composte non lo rende al momento economicamente vantaggioso.

Per quanto riguarda la costruzione dei motori elettrici, nel breve l'industria occidentale dovrà invece fare i conti con la riduzione delle esportazioni delle terre rare (REs – *Rare Earths*) da parte della Cina, maggiore produttore a livello mondiale (97 per cento del mercato). Tra le varie opzioni da adottare per far fronte a questa situazione, quella del loro recupero e riciclo da dispositivi/componenti dismessi o giunti a fine vita, ad esempio le batterie al Ni-MH e i super magneti permanenti presenti nei rifiuti delle apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) e nei motori/generatori elettrici, sembra essere la più percorribile, anche se, nel caso dei motori/generatori elettrici, la loro disponibilità è proiettata sul medio-lungo periodo. La sfida in questo campo consiste nel mettere a punto nuovi e innovativi processi per il recupero e riciclo delle terre rare, rispettosi dell'ambiente, efficienti ed economicamente vantaggiosi rispetto a quelli basati sulla loro estrazione dai minerali.

L'attuale congiuntura economica di certo non sta aiutando la vendita delle auto elettriche. Anche se i prezzi sono in rapida discesa, non risultano ancora competitivi rispetto a quelli delle auto omologhe a combustione interna; per questa ragione le vendite si attestano su numeri molto inferiori ai pronostici fatti solo qualche anno fa.

Tuttavia, come già avvenuto per il fotovoltaico che in certi casi ha ormai raggiunto la *grid parity*, ci si aspetta che in egual modo le

Sommario

auto elettriche possano presto diventare competitive anche senza l'esigenza di incentivazioni. Per favorire questo sviluppo, le istituzioni stanno intervenendo con i primi strumenti normativi e regolatori, mentre i progressi nel campo delle batterie fanno ben sperare in una riduzione dei costi, in un incremento dell'autonomia e della velocità di ricarica nelle stazioni di servizio. Da parte sua, il sistema elettrico si sente pronto a svolgere il ruolo di supporto che gli compete.

Foreword

Electric cars are not new, indeed their origin dates back to 1836, long before the internal combustion engine was invented. Vehicles and accumulators were improved in 1881 thus favoring their first spreading. France and Great Britain were the first European Countries to feature widespread electric cars from the late nineteenth century onwards.

America followed suit, with electric cars being used commercially on a large-scale for the first time in 1897, when the entire New York taxi fleet ran on electrical power.

As the nineteenth century moved into the twentieth, available cars were either electrically, steam or petrol powered.

Electric cars used to win people's preference amongst their competitors, because they were quiet, produced no vibration nor nasty fumes, and they could be driven without a gearbox.

Steam powered cars, too, did not need a gearbox but it could take up to 45 minutes for their engine to be started.

Back in those days, electric cars' driving range was actually not a problem as cars could only be driven on suitable roads, which in fact were just a few and only available in big cities.

Hybrid vehicles were born back in those same years. The first version of a "parallel hybrid vehicle" (that is, fitted with an internal combustion engine that can provide alternative mechanical support to the electric motor) was patented by Belgian inventor Henri Pieper in 1909, but the underlying technology had already been developed 11 years before by Ferdinand Porsche.

Series-hybrid cars (with an internal combustion engine recharging the battery that feeds the electric motor) were also invented by Porsche in those same years.

Back then, electric cars could reach a speed of 50 km/h, approximately, that is to say they could travel almost as fast as fossil fuel cars. Between 1899 and 1900, electric cars were the top sellers in the USA: 1912 featured a peak in electric cars production, but already in 1920 a number of elements led to a lower demand. The reduction in petrol price following the discovery of huge oil fields in Texas, the invention of electric starters, comfortable and remarkably longer roads, significantly lower prices for petrol engines thanks to the assembly lines devised by Henry Ford, all of this led to a massive spreading of internal combustion cars.

Thomas Chaize provides a good representation of the three peaks – about 100 dollars per barrel- in time-discounted oil prices:

- 1) 1864. Strongly increased demand and insufficient supply;
- 2) 1980. A 10% decrease in oil supply;

- 3) 2008 Stagnating supplies vis à vis a strongly increased demand, partly due to China's growth.

The interest of both consumers and manufacturers in electric cars was revived between the late Sixties and the early Seventies by the birth of people's awareness of air quality issues (the incentive scheme known as *Federal Clean Car Incentive Program* USA of 1970 was introduced right in those years) and by the swift (threefold) increase in oil prices triggered by the embargo on OPEC countries and by the Yom Kippur war of 1973.

A far-reaching research project on hybrid and electric cars aimed to foster the development of new driveline, power storage and hybrid car equipment technologies started being funded by the US government as of 1976. Nevertheless, the program failed to reach the goal of promoting the spreading of electric cars and was consequently cancelled.

A project funded by the Japanese government faced the same fate.

As for the Old Continent, the French Government funded and ambitious project under the coordination of EDF, that relied, amongst others, on the support from a consortium of potential electric car fleet owners, such as the National Mail Service, airport operation companies, the French railway network and public transportation companies, and yet the electric vehicle market could not grow.

It soon became clear that the power storage unit technologies that were available back then were not fit to ensure a suitable driving range.

During the Nineties, following California administration's approval of the *Zero Emission Vehicle (ZEV) Mandate*, a new wave of enthusiasm triggered the resumption of electric car production. The rule required 2% of California cars to be zero emission cars by 1998 with a further increase to 10% planned to be achieved by 2003. However, low electric cars production caused the funds to be progressively reduced with production finally coming to a halt.

A similar Japanese regulation planning for 200,000 electric cars to enter the market by the year 2000 ended up the same way.

That's how the electric car story went to present day, when some of the past conditions are actually re-occurring: oil price going up again, increased environmental concerns about the rise in the world's temperature, and a number of law provisions aimed at enhancing energy efficiency and curbing CO₂ emissions that have been growing almost unvariably over the past years.

Industry's interest in more efficient vehicles experienced a revival between 2007 and 2008, especially in the Old Continent.

Foreword

The targets set by the European Commissions have turned out to be instrumental to provide some certainty to the industry: amongst car manufacturers there is now a widespread belief that investing in low CO₂ emission technologies will pay them back overtime.

And that belief is rooted in facts: many Country, provincial, regional or city administrations have already been imposing taxes and constraints on less efficient means of transport with high CO₂ emission levels.

In the meantime, they have been fostering the diffusion of more efficient vehicles by setting up additional incentive schemes to purchase electric cars.

Though electric cars are selling less than expected in Europe, possibly because of the current crisis, too, in the USA electric cars sales are growing rapidly. A threefold increase from 17,000 to 52,000 units was recorded in the 2011-2012 period, which went on through the first semester of 2013, during which about 40,000 electric cars were sold, that is to say more than double the amount sold in the same period of 2012.

These indicators, combined with sales figure for other electrically powered means of transport (in Italy 50,000 electrical bicycles were sold in 2012) and with other similar signs coming from Asian countries, first and foremost China, confirm that electric cars are something whose environmental, economic and social impacts have to be seen from a local as well as from a global perspective, especially when planning for future power grids to be set up.

This monograph starts with an overview of the mobility services needed in the context of the new smart cities, providing a detailed outline of the technologies that are establishing themselves in the field of mobility, with special focus on the role of electrically powered units (Chapter 2).

Moving on to the following chapters, it provides a scenario for the spreading of electrically powered transportation means, with 2020 and 2030 as landmarks, thus allowing for an assessment of the impact on the national electric power/energy systems (Chapter 3) and environmental consequences (Chapter 4) both with a view to curb emission and concentration levels, and to provide an overall estimate of the life cycle for the different car types, including the possibility to put to use end-of-life vehicles through recovering their component parts that have a high economic or strategic value.

The final chapters provide a detailed outline of recharging infrastructures and technologies for electric cars, offering a detailed description of the different recharging solutions and the state of advan-

cement of legal standards in the fields (Chapter 5). An assessment then follows of the impact on power distribution grids against the 2030 scenario, including a number of solutions put in place by power distributor companies to ensure that suitable power supply is available at the future recharge stations' locations (Chapter 6).

The last section (Chapter 7) outlines the role of institutions and association in facilitating the spreading of electrically powered means of transport.

Introduzione

I veicoli elettrici non sono una *novità*... Infatti, la loro origine risale al 1836, ben prima dell'invenzione del motore a combustione interna. I veicoli e gli accumulatori furono migliorati nel 1881 permettendone una prima diffusione, assai significativa in Francia e Gran Bretagna a partire dalla fine del diciannovesimo secolo. L'America seguì subito dopo, con la prima applicazione commerciale su larga scala nel 1897, quando l'intera flotta dei taxi di New York era elettrica.

Negli anni di transizione tra il Diciannovesimo e il Ventesimo secolo, le automobili erano disponibili in tre versioni: elettriche, a vapore e a benzina. Le automobili elettriche erano preferite rispetto alla concorrenza, essendo silenziose e senza vibrazioni. Non emettevano sgradevoli odori e, inoltre, non avevano nemmeno il cambio; anche le auto a vapore non lo avevano, ma richiedevano lunghi tempi di avviamento, fino a 45 minuti. In quegli anni l'autonomia di percorrenza delle auto elettriche non era di fatto una limitazione, poiché le auto erano usate solo dove le strade erano adeguate, in realtà poche e disponibili solo nelle grandi città. Anche l'auto ibrida nacque in quegli anni. La prima in versione "ibrido parallelo" (il motore a combustione interna può dare supporto meccanico alternativo al motore elettrico) è stata brevettata dall'inventore belga Henri Pieper nel 1909, ma la tecnologia era già stata sviluppata 11 anni prima da Ferdinand Porsche.

Anche la macchina ibrida in versione serie (il motore a combustione interna carica una batteria che alimenta il motore elettrico) è stata anch'essa inventata da Porsche subito dopo. In quel periodo, le auto elettriche raggiungevano velocità attorno ai 50 km/h, comunque paragonabili alle concorrenti alimentate da combustibili fossili. Tra il 1899 e il 1900, negli Stati Uniti le auto di tipo elettrico furono in assoluto le più vendute: il 1912 fu l'anno in cui si registrò la maggior produzione di veicoli elettrici, ma già dal 1920 una serie di fattori portò al declino delle richieste. La riduzione del prezzo della benzina conseguente alla scoperta di grandi giacimenti di petrolio nel Texas, l'invenzione dell'avviamento elettrico, la disponibilità di strade confortevoli di notevole lunghezza e la rilevante riduzione del costo dei motori a benzina per merito delle catene di montaggio ideate da Henry Ford, portarono ad una massiccia diffusione delle auto a combustione interna.

Thomas Chaize ben evidenzia i tre picchi (vedi Figura 1 a pagina 18) del prezzo (attualizzato) del petrolio nell'intorno dei 100 dollari al barile:

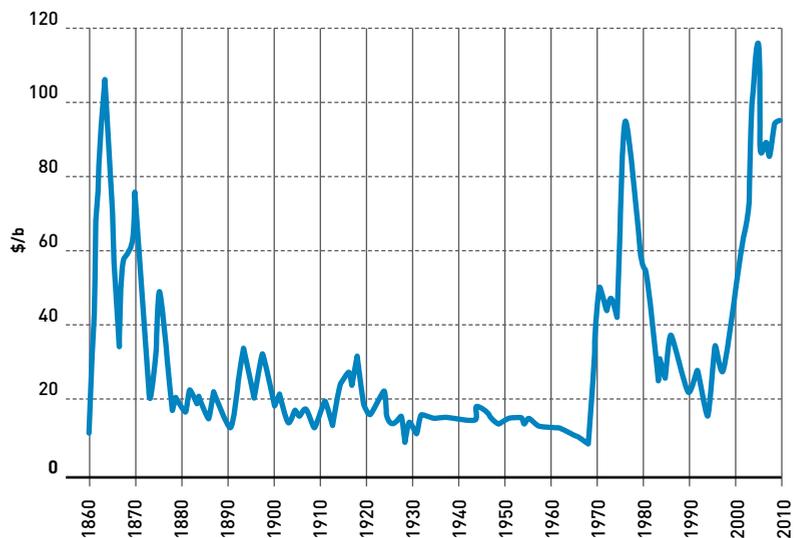
- 1) 1864: forte aumento della domanda e offerta insufficiente;
- 2) 1980: calo del 10 per cento delle forniture;

3) 2008: stagnazione nella fornitura a fronte di una forte domanda, in parte alimentata dalla crescita della Cina.

L'interesse per le auto elettriche da parte di consumatori e costruttori si ridestò tra la fine degli anni Sessanta e i primi anni Settanta a fronte della nascente attenzione a una migliore qualità dell'aria (è di questo periodo il programma d'incentivazione *Federal Clean Car Incentive Program* USA, 1970) e al rapido e triplice innalzamento del prezzo del petrolio innescato dall'embargo dei Paesi OPEC e dalla Guerra dello Yom Kippur del 1973. Un vasto progetto di ricerca sulle auto elettriche e ibride, con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo di nuove tecnologie di trazione, accumulo e di componenti per i veicoli ibridi, fu finanziato dal Governo degli Stati Uniti a partire dal 1976. Tuttavia questo programma non raggiunse gli obiettivi prefissati di diffusione di veicoli e per questa ragione fu cancellato. Stessa sorte subì un progetto finanziato dal Governo giapponese. Nel Vecchio Continente il Governo francese finanziò un ambizioso progetto coordinato da EdF che contava anche sul supporto di un consorzio di possibili acquirenti di flotte di veicoli elettrici quali le poste, le società di gestione aeroportuale, le ferrovie e le società di trasporto pubblico francesi, ma il mercato dei veicoli elettrici non decollò.

FIGURA 1

Prezzo attualizzato del petrolio espresso in dollari per barile negli ultimi 150 anni.



Introduzione

Presto però si capì che le tecnologie allora disponibili per gli accumulatori non erano adeguate ad assicurare ai veicoli elettrici una sufficiente autonomia. Negli anni Novanta, a fronte del mandato approvato dal Governo della California *Zero Emission Vehicle (ZEV) Mandate*, vi fu un'altra ondata di entusiasmo e la produzione di veicoli elettrici ricominciò. Il mandato richiedeva che il 2% dei veicoli della California diventasse a emissioni zero entro il 1998 per arrivare a un 10% nel 2003. Tuttavia la bassa produzione di auto elettriche causò una riduzione dei finanziamenti fino a farne cessare del tutto la produzione. In Giappone una simile iniziativa, che prevedeva di introdurre 200.000 automobili elettriche entro il 2000, seguì la stessa sorte.

Siamo quindi giunti ai giorni nostri e si stanno ripresentando alcune delle condizioni già viste: l'aumento del costo del petrolio, le preoccupazioni ambientali per l'innalzamento della temperatura e una serie di provvedimenti legislativi indirizzati all'incremento dell'efficienza energetica e al contenimento delle emissioni di CO₂ che negli anni ha assunto un andamento monotono crescente. L'interesse dell'industria verso veicoli più efficienti è ripreso a partire dal 2007-2008, soprattutto nel Vecchio Continente. I target fissati dalla Commissione Europea si sono dimostrati uno strumento per dare certezze al settore: tra i costruttori di autoveicoli si è diffusa l'opinione che investire in tecnologie a bassa produzione di CO₂ nel tempo ripaga. Questa convinzione è supportata da fatti concreti: già molti Paesi, province, regioni e città hanno imposto tasse e restrizioni ai veicoli meno efficienti, che emettono grandi quantità di CO₂. Contemporaneamente hanno favorito la diffusione di veicoli più efficienti, erogando incentivi addizionali per l'acquisto di auto elettriche.

Sebbene in Europa la vendita delle auto elettriche sia inferiore alle aspettative – forse anche a causa della crisi in corso – negli Stati Uniti è in rapida crescita. Dal 2011 al 2012 è triplicata, passando da 17.000 a 52.000 esemplari, ed è proseguita nei primi sei mesi del 2013 nei quali sono state vendute 40.000 autovetture, ovvero più del doppio di quelle vendute nello stesso periodo del 2012. Questi indicatori, uniti ai numeri di vendita di altri mezzi di mobilità elettrica (nel 2012 in Italia sono state vendute 50.000 biciclette elettriche) e ai segnali nello stesso senso provenienti dai Paesi asiatici, in primo luogo la Cina, confermano che l'auto elettrica è una realtà il cui impatto ambientale, economico e sociale deve essere considerato a livello sia locale sia globale e nella pianificazione delle reti elettriche del futuro.

Questa monografia dapprima presenta uno scenario di servizi di mobilità necessari nel nuovo panorama delle *città intelligenti* (o *smart city*), illustrando tecnologie che si stanno affermando per la mobilità e in particolare sul ruolo del veicolo elettrico (Capitolo 2). Successivamente, presenta uno scenario di diffusione della mobilità al 2020 e al 2030 che permette di valutare l'impatto sul sistema elettroenergetico nazionale (Capitolo 3) e gli effetti sull'ambiente (Capitolo 4) sia in termini di riduzione di emissioni e di concentrazioni sia in termini di valutazione complessiva del ciclo di vita delle diverse tipologie di autovetture, nonché in termini di valorizzazione dei mezzi elettrici arrivati a fine vita attraverso l'estrazione di componenti di elevato valore strategico o economico.

I capitoli finali entrano nel dettaglio delle infrastrutture e delle tecnologie di ricarica dei veicoli elettrici, presentando in modo dettagliato le diverse tipologie di ricarica e lo stato di evoluzione in campo normativo (Capitolo 5). Ne segue la valutazione dell'impatto sulle reti elettriche di distribuzione nello scenario 2030, nel quale vengono anche indicate le soluzioni intraprese a livello di aziende della distribuzione per assicurare una adeguata disponibilità di energia nei futuri punti di ricarica (Capitolo 6). Infine, il Capitolo 7 illustra il ruolo che le Istituzioni e le associazioni devono avere per facilitare la diffusione della mobilità elettrica.

Le città intelligenti e la mobilità elettrica

La necessità di trasporto costituisce un bisogno primario dell'uomo, legato al concetto stesso di sviluppo della nostra società. Ma proprio la mobilità è responsabile di una parte rilevante delle emissioni di inquinanti e di gas serra in ambiente urbano, e può rappresentare, se non correttamente gestita, fonte di affaticamento e di abbassamento della qualità della vita. L'esperienza degli ultimi cinquant'anni ha mostrato come l'aspetto chiave dell'evoluzione della mobilità sia stata la sempre maggiore dipendenza dall'auto in termini fisici e in termini psicologici. La crescita del reddito ha infatti generato una diminuzione del costo reale del trasporto e un aumento del valore assegnato alla componente tempo e alla componente disagio.

Ne è conseguito un incremento nell'utilizzo di modi di trasporto, come l'auto privata, più costosi ma più rapidi e confortevoli. L'auto e il suo utilizzo sono così diventati un'esternazione delle condizioni economico-sociali della persona, assegnando ad essa una valenza di status symbol. È così che le auto possedute in Italia sono passate da poco più di 10 milioni del 1970 agli oltre 36 milioni del 2010 [1]. A causa di questa tendenza l'Italia presenta una struttura della mobilità critica sotto diversi aspetti, peraltro tra loro correlati [2]:

- sistema del trasporto incentrato sull'uso dell'auto. L'Italia è il secondo Paese per tasso di motorizzazione in Europa; dal 1970 il parco circolante è cresciuto del 271 per cento (e la rete stradale del 34 per cento);
- alti costi del trasporto. Si stima (per difetto) un costo totale di circa 300 miliardi di euro l'anno; rapportato al PIL, l'incidenza è tra i 4 e i 5 punti più alta della media europea (EU27);
- alti impatti ambientali e sulla salute dei cittadini. L'inquinamento atmosferico da trasporti è più alto di 4 punti rispetto alla media europea (EU27); secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, 6 delle 20 città più inquinate d'Europa sono in Italia;
- basse prestazioni di sistema. Rispetto alla media EU27, i costi per la congestione sono il doppio (2 per cento del PIL) e la logistica tradizionale ha un extra-costi dell'11 per cento; la velocità media urbana è tra i 7 e i 15 km/h (con un aumento del 25-30% dei tempi di percorrenza dal 2000);
- sicurezza stradale. Nel 2011 i decessi sulle strade sono stati 4.090 con circa 300.000 feriti; l'Italia, se pur in miglioramento, è al 4° posto in Europa per mortalità stradale e al 3° per incidentalità; i costi stimati sono compresi tra i 20 e i 30 miliardi di euro l'anno.

Il tema di una migliore gestione della mobilità è destinato dun-

que a ricoprire un ruolo fondamentale per lo sviluppo sostenibile del Paese nei prossimi decenni. Pur essendo numerosi gli aspetti legati a un “livello di scala” nazionale, quali la gestione dei flussi merci sul territorio, sia in modalità autostradale sia ferroviaria, o la razionalizzazione del trasporto marino o aereo, si ritiene che la sfida della mobilità sarà giocata prevalentemente su un livello urbano.

È proprio nelle città, infatti, che gli effetti di una corretta gestione del trasporto possono avere l'impatto più significativo, intervenendo in maniera anche sostanziale sul benessere e sulla qualità della vita di una larga parte della popolazione italiana. In questi termini, la mobilità va di fatto a rappresentare un cardine delle nuove e più ampie concezioni e definizioni di “città intelligente”, che stanno assumendo sempre maggiore rilevanza tanto in ambito scientifico-accademico quanto in ambito produttivo.

2.1

SMART CITY: CONCETTO E CARATTERISTICHE

Per la prima volta nella storia della civiltà umana, nel 2007 la popolazione urbana ha superato quella rurale. Si prevede che nel 2050 la Terra ospiterà 9 miliardi di persone e che, a tale data, le città ne ospiteranno circa il 70 per cento, diventando le maggiori responsabili delle emissioni di sostanze inquinanti, della produzione di rifiuti e dei consumi di energia [3],[4]. Muovendosi in un contesto di questo tipo, non risulta difficile immaginare perché il tema dell'ammodernamento e di una gestione “intelligente” delle città, delle loro risorse e dei loro abitanti rappresenti un punto focale per l'attenzione di molteplici soggetti, sia pubblici sia privati. L'analisi congiunta di letteratura, riviste, pagine web e attività convegnistica mette facilmente in evidenza come, in effetti, il tema delle smart city abbia rapidamente conosciuto una diffusione molto rilevante. Ciò nonostante, non esiste al momento una definizione ufficiale di smart city, né si può dire che esista una tecnologia, una soluzione, un approccio la cui adozione rappresenti condizione necessaria e/o sufficiente per poter rientrare in tale categoria.

L'idea di città intelligente rappresenta in primo luogo una evoluzione dei due concetti stessi che la compongono. L'intelligenza, da peculiarità propria ed esclusiva dell'uomo, diviene una caratteristica diffusa, fatta propria da un numero sempre più alto di componenti e strumenti, versatili, efficienti, sostenibili e perennemente connessi. Allo stesso tempo la città, da insieme di luoghi destinati ad una serie di funzioni, tradizionalmente ben distinte tra loro, diviene uno spazio versatile e mutevole, in grado, tramite le tecnologie ICT (*Information*

Le città intelligenti e la mobilità elettrica

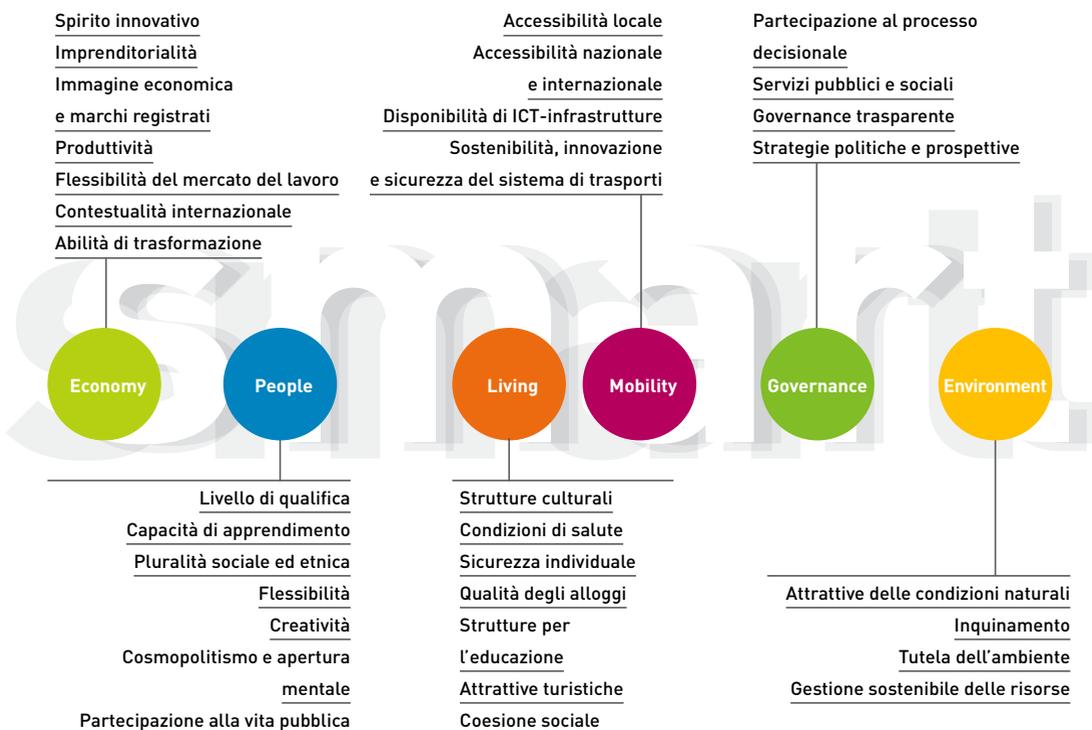
and *Communication Technologies*), di sovrapporre e far convivere nello stesso contesto fisico la componente privata e quella sociale, la componente professionale e quella ricreativa. La caratterizzazione attualmente più diffusa è in realtà quella proposta dal Politecnico di Vienna, in collaborazione con l'Università di Lubiana e il Politecnico di Delft, recentemente ripresa anche in Italia dal laboratorio iCityLab.

Essa si basa sulla definizione di sei assi principali (e dei sottostanti parametri e indicatori), lungo i quali è possibile valutare il grado di *smartness*: economia, ambiente, mobilità, persone, stile di vita e amministrazione [5],[6].

È interessante notare come nella maggior parte delle definizioni e degli approcci in uso si trovi una forte attenzione al tema del coinvolgimento dei cittadini, che in una città smart apprendono, si adattano alle nuove soluzioni tecnologiche, partecipano ai processi di innova-

FIGURA 2

I sei assi delle smart city secondo l'approccio europeo e le loro declinazioni.



zione e fanno sì che la società si esprima direttamente nei processi di azione della Pubblica Amministrazione. Proprio a livello di Pubblica Amministrazione e di istituzioni, diverse sono a oggi le iniziative che mirano a diffondere il concetto di smart city, sia in ambito internazionale sia in ambito italiano. Primo esempio è stato il Patto dei Sindaci, un'iniziativa autonoma dei Comuni europei che si è posta come obiettivo la riduzione delle emissioni di CO₂ di oltre il 20 per cento entro il 2020, attraverso l'efficienza energetica e l'energia rinnovabile [7]. A fianco di tale iniziativa, è bene ricordare la *Smart Cities and Communities Initiative*, promossa dalla Commissione Europea dal giugno 2011 [8] e, a livello nazionale, i due bandi emanati dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR) nel corso del 2012 per uno stanziamento totale pari a circa 1 miliardo di euro [9],[10].

2.2

SMART MOBILITY: SOLUZIONI E SERVIZI INNOVATIVI PER LA CITTÀ

La mobilità sostenibile rappresenta un punto chiave per la transizione smart delle città. Un primo e importante contributo in tal senso può essere ottenuto anche senza intervenire in maniera sostanziale sulla tecnologia dei veicoli utilizzati, bensì adottando soluzioni che intervengano sul “sistema di mobilità urbana”.

Tali soluzioni risultano soprattutto basate su nuovi metodi di utilizzo di tecnologie già esistenti, in particolare nel campo ICT, e su nuovi schemi di approccio alla mobilità. Sono soluzioni che, progressivamente, stanno entrando nella quotidianità delle grandi città e che prevedono la fornitura di nuove tipologie di servizi, eserciti principalmente dalla Pubblica Amministrazione e dalle aziende del trasporto pubblico locale.

Si riportano di seguito alcuni esempi delle soluzioni che sembrano essere caratterizzate dalle maggiori potenzialità di sviluppo, dividendole per ambiti pur sapendo che esse risultano fortemente integrate e complementari tra loro.

Mobilità condivisa e micro-mobilità

L'idea del veicolo di proprietà, simbolo di libertà e fiera espressione del proprio status, sembra conoscere negli ultimi anni un leggero ma costante indebolimento. I costi sempre più alti, uniti alle difficoltà di utilizzo degli autoveicoli in città, fanno sì che l'idea di rinunciare alla proprietà di un mezzo inizi a diventare stimolante, a favore *in primis* dei mezzi pubblici, ma anche della mobilità cosiddetta “condivisa”.

Le città intelligenti e la mobilità elettrica

Dati del Comune di Milano indicano che i veicoli privati sono utilizzati per circa il 3 per cento del tempo, rappresentando per il restante 97 per cento un oggetto inanimato che occupa suolo pubblico e riduce la possibilità di creare spazi fruibili per i cittadini [11]. Si evidenzia, dunque, come la scelta di soluzioni di condivisione sia da considerarsi non solo praticabile, ma anche auspicabile, su più tipologie di mezzi di trasporto. Il sistema del bike sharing, che prevede la possibilità di utilizzare, previa registrazione, una delle numerose biciclette disponibili in diverse stazioni dislocate in punti strategici della città, è attualmente piuttosto diffuso, soprattutto in molte città europee.

Comunemente il servizio è esercito o gestito dalle aziende di trasporto pubblico locale e prevede, a fronte della sottoscrizione di un piccolo abbonamento, l'utilizzo gratuito delle biciclette per i primi 30 minuti e il pagamento di pochi euro per le ore successive. In Italia, se pur con un po' di ritardo, il sistema del bike sharing sta iniziando a diffondersi, e vede esempi nelle maggiori città metropolitane, da Torino a Roma a Milano.

Più impegnativo, ma anche di più forte impatto è il sistema del car sharing. Il concetto di base riprende esattamente quello della versione bike, appena citata: sottoscrizione di un abbonamento, ritiro e consegna presso stazioni situate in vari luoghi della città e pagamento di un corrispettivo orario o chilometrico. Il maggior costo dei veicoli, lo spazio richiesto per le stazioni, la gestione della localizzazione diffusa e la necessità di attenti sistemi di riconoscimento per ragioni di sicurezza, rende il car sharing un soluzione ancora in una fase di prima diffusione in Italia che, se pur in crescita, non rappresenta ancora una realtà affermata. Non vale lo stesso in altre città europee, quali ad esempio Parigi e Amsterdam, in cui servizi come *Autolib'* e *Greenwheels* o *Car2Go* forniscono un sistema di condivisione estremamente apprezzato e utilizzato.

È interessante notare, inoltre, come i servizi di sharing mirino in molti casi a intercettare le necessità cosiddette di “ultimo miglio” degli utenti del sistema ferroviario o del trasporto pubblico locale. L'utilizzo in questi termini porta l'attenzione verso i concetti di intermodalità degli spostamenti e di micro-mobilità. La micro-mobilità può essere infatti definita come quel sistema di trasporto pubblico individuale, con vocazione urbana, realizzato per mezzo di veicoli (per lo più compatti e a emissioni basse o nulle) destinati a integrare la rete di trasporto pubblico collettivo di superficie e sotterranea, allo scopo di garantire agli utenti la possibilità di coprire con mezzi pubblici l'intera distanza che separa il luogo di partenza da quello di arrivo (incluso primo e ultimo miglio). Studi sperimentali condotti

su un ampio spettro di città dimostrano con chiarezza le potenzialità della micro-mobilità nella costruzione di città accessibili e smart [12].

Ancora configurabili come “condivisione”, sono infine le nuove iniziative di car pooling. Evoluzione tecnologica del tradizionale “passaggio a casa” o dell'autostop, questi sistemi prevedono infatti che gli utenti si organizzino, tramite applicativi web, per condividere tratti di viaggio, ottimizzando così spese, consumo energetico e impatto ambientale. Iniziative in questo senso stanno diventando sempre più frequenti anche in Italia, con particolare gradimento da parte degli utenti più giovani. Alcune aziende virtuose propongono inoltre soluzioni di car pooling aziendale per il trasporto casa-lavoro dei dipendenti o per trasferte esterne.

Gestione dei flussi di traffico e infomobilità

Una delle caratteristiche principali delle smart city è l'estrema diffusione di sensori e apparati in grado di raccogliere e trasmettere una notevole mole di dati. L'elaborazione in tempo reale di questi segnali dovrebbe dunque permettere ai gestori dei servizi una ottimizzazione degli stessi e la restituzione immediata di informazioni utili per l'utente. Uno degli ambiti in cui tale approccio è più studiato e più sperimentato è proprio quello della mobilità.

Il monitoraggio delle condizioni del traffico e la condivisione immediata dell'informazione con l'utente è in effetti una realtà che sta rapidamente evolvendo dal solo traffico autostradale (cui siamo abituati ormai da anni) anche al traffico urbano. Le modalità e le tecnologie di raccolta dati sono in continua e rapida evoluzione e vanno dalle telecamere ai sistemi di rilevazione di passaggio agli ingressi delle città, sino all'utilizzo di dispositivi di geolocalizzazione installati direttamente sui veicoli.

Un esempio ormai diffuso anche in alcune città italiane è il cosiddetto AVM (*Automatic Vehicle Monitoring*), che permette di conoscere i dati di funzionamento dei mezzi di trasporto pubblico, compresa la loro esatta posizione. Grazie a tale sistema e all'utilizzo di appositi display alle fermate, l'utente può essere informato in tempo reale sulla posizione del mezzo e sul tempo di attesa previsto, potendo così decidere tra vari eventuali alternative di trasporto (Figura 3). L'ampliamento di un sistema di questo tipo anche alla mobilità privata permetterebbe un monitoraggio quasi totale della situazione del traffico cittadino, e l'immediata adozione di “contromisure” per ridurre al

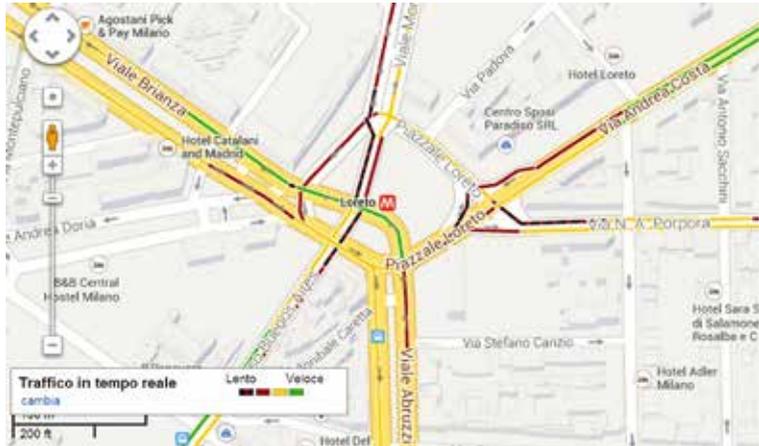
FIGURA 3

Pensilina per trasporto pubblico dotata di informazioni sul tempo di attesa.



FIGURA 4

Mappa di Google con evidenziato il traffico in tempo reale.



massimo la presenza di congestione.

Appare da diversi studi come il più semplice ma efficiente sistema di gestione del traffico sia la comunicazione delle criticità al cittadino. Questo può essere fatto attraverso pannelli luminosi (già presenti in alcune città), ma anche attraverso sistemi più evoluti quali applicazioni web o per smartphone. Un primo esempio già attivo, se pur in versione beta, è fornito da Google maps, che, dato un percorso, fornisce delle stime del tempo di percorrenza in funzione della “situazione attuale del traffico” (Figura 4).

Un altro tra gli strumenti più funzionali alla gestione ottimale dei flussi di traffico è il cosiddetto semaforo intelligente. Il concetto di semaforo intelligente nasce con i primi esempi di Onda Verde, già presenti da alcuni decenni ma in verità ancora non così capillarmente diffusi in Italia. Il semaforo intelligente, così come inteso oggi, è in grado di rilevare la presenza di veicoli sulle strade di sua competenza (tramite sensori ottici, o magnetici o a ultrasuoni) e di regolare il passaggio dei veicoli dinamicamente, in modo ottimizzato.

La sua diffusione, nonostante i notevoli vantaggi in termini di miglioramento del traffico urbano, non è ancora molto significativa in Italia, dove si preferisce ancora adottare sistemi più semplici, quali una diversa temporizzazione dei semafori a seconda dell'ora del giorno. La conoscenza della posizione dei veicoli rappresenta un punto chiave anche per un altro tema molto sentito a livello urbano: la gestione della sosta, per mezzi sia di trasporto persone sia di trasporto merci. È noto che la ricerca di aree libere di parcheggio comporta un aumento della permanenza in auto di circa il 30 per cento, rappresentando così una attività estremamente

dannosa per l'ambiente cittadino [13]; essa crea infatti inutile congestione e l'aumento dei livelli di inquinamento (i motori a basso regime risultano tra l'altro meno efficienti rispetto al funzionamento standard), oltre a comportare un ben noto disagio e affaticamento mentale al conducente.

Molti sono gli studi che mirano a risolvere questo problema; negli Stati Uniti sono in fase di prova sistemi che, tramite sensori e un applicativo smartphone, permettono di indicare in tempo reale dove siano le aree di sosta disponibili. In Italia non risultano al momento attivi servizi di questo tipo, ma sono invece in fase di test, in particolare a Genova e Bologna, delle soluzioni di parcheggi intelligenti destinati al trasporto merci.

Anche in questo caso, la presenza congiunta di dispositivi di rilevamento (magnetici) e di un servizio web/smartphone, fa sì che l'utente conosca la disponibilità delle piazzole di sosta, potendo anche prenotare quella desiderata. Il monitoraggio della sosta ha anche una funzione di controllo, in quanto permette di verificare in tempo reale se l'utente stia utilizzando la zona di carico e scarico per tempi troppo lunghi e di infliggere immediatamente una sanzione in caso di una violazione di questo tipo [14],[15].

Aree protette e mobilità dolce

Tra le soluzioni "di sistema", sarebbe improprio non considerare quelle che prevedono la destinazione di alcune zone della città esclusivamente ad alcune tipologie di veicoli. Il termine "aree protette", utilizzato nel titolo, rimanda di proposito al concetto delle oasi naturali e allo scopo tradizionale di quest'ultime: il mantenimento dell'equilibrio ambientale di un determinato luogo di pregio. Il principio ispiratore delle zone pedonali, o delle zone a traffico limitato, è infatti esattamente paragonabile, in quanto esse mirano a preservare

le zone di maggior pregio delle città (tipicamente i centri storici) cercando di ridurre il livello di inquinamento e incrementando il comfort e la sicurezza dei frequentatori.

Esempi di questo tipo sono ormai presenti in molte città italiane e straniere ma nel dibattito sul futuro della mobilità in ottica smart city il tema è ancora decisamente all'ordine del giorno. Esempio lampante di una soluzione di questo tipo è la discussa "Area C" di Milano che prende spunto da quanto effettuato a Londra e prevede una regolamentazione molto precisa dell'accesso all'area centrale della città. Si prevede,

FIGURA 5

Segnale di ingresso con regolamentazione Area C Milano.



FIGURA 6

Segnali di ingresso in zone con politiche di *traffic calming*.



infatti, l'accesso gratuito per i veicoli a bassissime emissioni, il pagamento di una *congestion charge* per i veicoli con tecnologia standard e invece il divieto assoluto di accesso per i veicoli vecchi e inquinanti (Figura 5).

La realizzazione di zone a traffico controllato appare anche una pre-condizione per la valorizzazione e l'incremento dell'utilizzo della mobilità ciclabile, al momento estremamente povera in Italia, a differenza di quanto avviene in altre Nazioni europee (Paesi Bassi in primo luogo). La mobilità dolce, intesa come trasporto ciclabile o pedonale, in maniera tendenzialmente priva di stress, è considerata infatti un punto di arrivo fondamentale per una città più vivibile. Allo stesso modo, si manifesta in più modi la richiesta di zone con politiche di *traffic calming*, a velocità fortemente limitata (solitamente a 30 km/h), per tutelare e agevolare quelle che sono note come utenze deboli della strada: pedoni, ciclisti e motociclisti (Figura 6).

2.3

VEICOLI A BASSE EMISSIONI E DI DIMENSIONI OTTIMIZZATE

Se è vero che l'adozione delle suddette "soluzioni di sistema" rappresenta una componente cruciale per la mobilità intelligente nelle città, è altrettanto vero che un contributo fondamentale dovrà venire dalla sostituzione dei veicoli tradizionali con mezzi innovativi caratterizzati da bassi consumi e basse emissioni inquinanti e in grado di minimizzare i problemi di congestione del traffico.

L'attività di ricerca e sviluppo in quest'ambito è in verità notevole già da circa venti anni, da quando nel 1991 l'Unione Europea emanò la prima delle molte direttive "Euro" (da "Euro 1", in vigore dal 1

gennaio 1993, sino a “Euro 6”, prevista dal 1 gennaio 2014), che hanno fissato limiti progressivamente sempre più severi alle emissioni nocive prodotte dai motori. La presenza dei vincoli comunitari ha imposto a tutti gli attori del settore automobilistico una imponente attività, finalizzata allo studio di tecniche di alimentazione, combustione e controllo dei motori sempre più sofisticate e all'adozione di sistemi di abbattimento degli inquinanti sempre più efficaci.

Gli sforzi sostenuti negli ultimi venti anni hanno in effetti portato a risultati molto soddisfacenti, permettendo di ridurre di oltre il 95 per cento le emissioni allo scarico degli inquinanti monitorati, passando anche attraverso importanti modifiche ai componenti motoristici, quali, tra le prime, l'inserimento del catalizzatore e della sonda lambda e l'abbandono dei sistemi a carburatore.

Ad oggi, molta attenzione si è spostata dagli inquinanti “tradizionali” alla CO₂, per la quale è in fase di approvazione a livello europeo un limite massimo di 95 gCO₂/km al 2020 (rispetto agli attuali 135 gCO₂/km medi). Per il rispetto di tale vincolo non sarà probabilmente più sufficiente affinare la tecnologia dei motori odierni e ridurre il consumo di combustibile, ma si renderà necessario aprirsi a nuovi paradigmi [16]. Passi avanti radicali sul fronte della riduzione delle emissioni di CO₂ potranno quindi essere compiuti mediante:

- impiego di biocarburanti (bioetanolo, biodiesel) e di altri combustibili sintetici, capaci di abbassare le emissioni di CO₂ nel ciclo di produzione e utilizzo finale a bordo del veicolo;
- impiego di combustibili gassosi, a partire dal gas naturale fino alle miscele gas naturale – idrogeno e all'impiego di idrogeno puro;
- incremento dell'integrazione “elettrica” nei veicoli ibridi e in quelli elettrici puri.

In particolare, i veicoli elettrici puri e quelli ibridi ricaricabili da rete, con l'uso dell'elettricità di rete come fonte energetica singola o addizionale, sono gli unici a rappresentare un cambiamento fondamentale rispetto ai sistemi di propulsione convenzionali e offrono le maggiori potenzialità di riduzione delle emissioni, come sarà dettagliato in seguito. Un secondo tema di estrema rilevanza è l'ottimizzazione dell'utilizzo, delle dimensioni e delle caratteristiche dei veicoli. Se è vero che modificare e migliorare il sistema di propulsione comporta notevoli vantaggi ambientali, è infatti altrettanto vero che questo non avrà di per sé alcuna influenza sulla problematica della congestione stradale. In questi termini, primo e fondamentale aspetto è la transizione dal trasporto privato al trasporto pubblico. Numerosi studi dimostrano che l'aumento del trasporto pubblico locale, a discapito della mobilità privata, avrebbe benefici sia in termini ambientali sia sociali ed economici.



FIGURA 7

Renault “Twizy”.

Riportandosi al campo della mobilità privata, è invece oggetto di studi, nonché della realizzazione di alcuni primi modelli, oltre che il rafforzamento del mercato di velocipedi e scooter elettrici, la rivisitazione del concetto di automobile, nell’ottica di un forte ridimensionamento, alleggerimento e ottimizzazione della stessa. La mobilità privata si esprime per la grande maggioranza in ambito urbano, attraverso mezzi sottoutilizzati sia in termini di spazio sia di prestazioni. L’utilizzo di mezzi di trasporto del peso dell’ordine dei 400 kg e dalle caratteristiche di un moderno quadriciclo può rappresentare pertanto una valida e intelligente alternativa in termini ambientali ed economici. Primo e più lampante esempio di questa filosofia è la Renault “Twizy”, che con circa 1.400 veicoli venduti in Italia ha rappresentato in effetti il vero outsider del settore nel 2012 (Figura 7).

Estremizzazione del concetto appena espresso sono infine i cosiddetti *personal mover*, forma innovativa e via di mezzo tra velocipedi e ciclomotori, di cui fu primo esempio il noto *Segway*. Questi particolari mezzi di trasporto cercano di ridurre al minimo il materiale utilizzato e si propongono quasi come un’appendice del corpo umano, basando il loro controllo sui movimenti del corpo stesso. Numerose sono le soluzioni presentate in questo senso, portatili, ecologiche e versatili, anche se si riscontra ancora forte diffidenza su questo tipo di sistema.

2.4

IL RUOLO DELLA MOBILITÀ ELETTRICA

La situazione della mobilità urbana e dei suoi possibili sviluppi mette in evidenza come la mobilità elettrica possa giocare un ruolo di fondamentale importanza nei prossimi decenni. Ripercorrendo le soluzioni di smart mobility appena descritte si può infatti notare come la propulsione elettrica sia particolarmente indicata per la maggior parte di esse.

Veicoli elettrici e sharing

La presenza di zone di sosta dedicate e vigilate, e l’utilizzo tipicamente da “seconda auto” che viene fatto dei veicoli in car sharing con percorsi per lo più urbani e peri-urbani e percorrenze limitate, fa sì che un’auto elettrica possa agevolmente essere utilizzata per servi-

FIGURA 8

Bluecar
e stazione
Autolib', Parigi.



zi di trasporto condiviso. L'esempio più interessante di tale soluzione è quello del francese *Autolib'*, servizio di car sharing esclusivamente elettrico attivo a Parigi, Lione e alcuni comuni limitrofi per opera del gruppo Bollorè. *Autolib'*, attivato nel dicembre 2011, sta riscuotendo un notevole successo e possiede già una flotta di 1.750 veicoli, tutti puramente elettrici e modello Bluecar, prodotti dallo stesso Bollorè in collaborazione con Pininfarina (Figura 8).

Veicoli elettrici e infomobilità

L'utilizzo di veicoli elettrici prevede nella quasi totalità dei casi l'adozione di moderni sistemi di navigazione e di controllo satellitare a bordo, in modo da garantire una ottimizzata e semplice gestione dell'autonomia residua nel pacco batterie, così come di sistemi di riconoscimento per l'accesso alle colonnine di ricarica pubbliche. La presenza di tali dispositivi si integra perfettamente con le nuove soluzioni di infomobilità e gestione del traffico, rendendo il veicolo al tempo stesso una fonte di informazioni e un pronto ricettore delle stesse.

Veicoli elettrici e aree protette

È immediato constatare come l'assenza di emissioni inquinanti dirette e il bassissimo inquinamento acustico rendano il veicolo elettrico una soluzione intrinsecamente ideale per garantire una mobilità sostenibile e poco invasiva nelle zone di pregio delle città.

Veicoli elettrici e trasporto pubblico

Autobus elettrici sono in circolazione in alcune città italiane ormai da quasi venti anni. Essi sono tendenzialmente di piccole dimensioni e con una autonomia che ne limita l'utilizzo a brevi percorsi nei centri storici. Lo sviluppo delle nuove tecnologie di accumulo a ioni di litio sta però permettendo ai costruttori degli stessi di migliorare in maniera sostanziale prestazioni, capienza e autonomia dei veicoli. Prodotti di questo tipo, italiani ma adottati con successo anche in molte realtà internazionali, sono ad esempio il Gulliver di Tecnobus, lo Zeus di Breda Menarini, i mezzi elettrici e in qualche caso dotati di *range extender* (ovvero di un piccolo motore a combustione che ricarica la batteria) della EPT in servizio a Genova, Torino e Brescia, e l'Alè di Rampini. Attenzione ha suscitato anche il nuovo veicolo E-Life di produzione cinese e presentato in Italia da Rama, che rappresenta il primo autobus elettrico nel segmento dei 12 metri sulle strade italiane.

Si noti che l'elevato consumo energetico caratteristico dei mezzi pubblici, pesanti e di grosse dimensioni, fa sì che il sistema di accumulo a bordo debba essere in grado di stoccare una ingente quantità di energia, comportando difficoltà in termini di costo, ingombro e peso.

Una delle soluzioni più studiate per risolvere questa problematica è quella di sfruttare le soste molto ravvicinate dei mezzi, in corrispondenza delle fermate, per ricaricare in maniera extra rapida le batterie a bordo, fornendo ogni volta al veicolo l'energia sufficiente per raggiungere la fermata successiva (con un adeguato margine di sicurezza). In questo modo la necessità di energia stoccata a bordo a inizio giornata sarebbe notevolmente minore, permettendo un significativo ridimensionamento delle batterie.

È da notare come in mezzi di questo tipo sia particolarmente indicato utilizzare sistemi di accumulo "ibrido", non composti cioè esclusivamente da celle elettrochimiche, ma anche da supercondensatori in grado di attenuare i picchi di potenza, che rappresentano una forte fonte di stress per le batterie.

Veicoli elettrici e ottimizzazione degli spazi

Per quanto riguarda una mobilità più "intelligente" dal punto di vista di consumi e ingombri, infine, il vettore elettrico rappresenta ancora una tecnologia privilegiata. I bassi consumi, le autonomie richieste molto minori e la possibilità di estrarre le batterie per ricaricarle in casa, fanno infatti sì che nel settore delle due ruote, dei quadricicli leggeri e dei *personal mover* le difficoltà tipiche della mobilità elettrica siano molto meno penalizzanti, mentre risultano vincenti le caratteristiche di silenziosità e assenza di emissioni.

2.5

CONCLUSIONI

Al termine smart city si associa un insieme molto vasto di soluzioni tecnologiche, economiche e politiche. In tutte le visioni il tema della mobilità rappresenta un aspetto cruciale. È opinione condivisa che una riduzione sensibile del trasporto privato, a favore di quello pubblico o condiviso, riduca le emissioni e il numero dei veicoli presenti nelle città. Il concetto di condivisione sta ottenendo un interessante successo, non solo nella forma più nota, gestita da società apposite, ma anche sotto forma di sistemi autogestiti dagli utenti.

È possibile affermare che il concetto di *availability instead of owning* andrà a caratterizzare, se pur gradualmente e lentamente, una parte sempre più significativa della mobilità urbana. Per stimolare una maggiore adozione del trasporto pubblico si *percorrono* allo stesso tempo due strade.

Da una parte, si creano alcune zone della città accessibili esclusivamente tramite mezzi pubblici, dall'altra si sfruttano sempre più innovative forme di tecnologia, in particolare ICT, per rendere il trasporto pubblico sempre più accessibile, attraverso sistemi di informazione dinamici, metodi di pagamento integrati e semplificati e sistemi di condivisione sharing in micro-mobilità che offrano la possibilità di coprire efficacemente anche "primo e ultimo miglio" del percorso.

Dal punto di vista delle tecnologie di trazione, si osserva come l'orientamento verso il miglioramento ambientale ed energetico dei sistemi di propulsione, in atto ormai da circa 20 anni, dall'introduzione delle prime normative antinquinamento "Euro 1", non sembra più poter fare a meno di una progressiva elettrificazione dei veicoli, che divengono prima ibridi e successivamente elettrici.

Ciò vale in tutti i settori del trasporto, dalla ciclabilità, alle automobili, ai *personal mover*, ai veicoli commerciali, ai mezzi di trasporto pubblico, sino ai mezzi di trasporto pesante utilizzati su percorsi autostradali. La mobilità elettrica, forte dei suoi vantaggi in termini di efficienza, pulizia e silenziosità, appare dunque un punto cardine della città del futuro e numerosi sono gli studi e i progetti in atto per cercare di risolvere i problemi di funzionalità e costo che ancora la contraddistinguono.

Impatto sul sistema elettro-energetico

Questo capitolo intende rispondere alla seguente domanda: *Nel caso vi sia una rilevante penetrazione di auto elettriche al 2030, quale sarà l'impatto sul sistema elettrico nazionale?*

La "rilevante penetrazione" (considerata pari, come vedremo nel seguito, a circa 10 milioni di auto elettriche) non è il frutto di una previsione derivante da uno studio di mercato, bensì una semplice assunzione che caratterizza lo scenario le cui conseguenze ci interessa valutare.

3.1

SCENARIO DI PENETRAZIONE DELLE AUTO ELETTRICHE AL 2030

Lo scenario considera auto completamente elettriche (BEV - *Battery Electric Vehicles*) e auto ibride (PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicles*), la cui batteria può essere ricaricata sia dalla rete (come le BEV) sia da un motore a combustione interna presente a bordo.

Si assume che si sviluppino due generazioni di auto elettriche: la prima (BEV1 e PHEV1), sul mercato dal 2010 al 2020 caratterizzata da una relativamente bassa penetrazione, e la seconda (BEV2 e PHEV2) caratterizzata da migliori prestazioni e quindi da una superiore penetrazione, sul mercato dal 2017 al 2030. Complessivamente, nello scenario considerato, alla lenta crescita iniziale che porta le auto elettriche a un 3 per cento circa del parco auto al 2020, segue una crescita più rapida, fino a raggiungere il 25 per cento del parco auto al 2030. Con la tecnologia attuale, le batterie delle auto BEV consentono un'autonomia che si aggira attorno a 150 km: tali auto sono quindi adatte a un uso tipicamente urbano.

Al contrario le PHEV sono molto più versatili, potendo essere utilizzate anche su percorsi extra-urbani. Per tale ragione, nello scenario considerato si assume una penetrazione delle auto PHEV significativamente superiore alle BEV, in una proporzione pari all'80 per cento PHEV1 - 20 per cento BEV1 per le auto di prima generazione e 70 per cento PHEV2 - 30 per cento BEV2 per le auto di seconda generazione, in cui le BEV2 dispongono di batterie di maggior capacità rispetto alle BEV1, la cui conseguente maggior autonomia consente loro una maggiore penetrazione sul mercato.

Assumiamo inoltre che tutte le BEV1 siano auto piccole, appartenenti ai segmenti A e B, mentre tutte le ibride (sia PHEV1 sia PHEV2) siano auto più grandi, appartenenti ai segmenti C e D. Riguardo alle BEV2, assumiamo che il 50 per cento siano auto appartenenti ai segmenti A e B e il 50 per cento ai segmenti C e D. Definite

le penetrazioni percentuali delle varie tipologie di auto elettriche, occorre definire la consistenza del parco auto complessivo fino al 2030, in modo da determinare di conseguenza il numero delle auto elettriche circolanti.

A tale riguardo, ci si è basati sullo scenario demografico “centrale” ISTAT [17], che al 2030 prevede circa 62 milioni di abitanti. Inoltre, estrapolando il trend attuale del numero di abitanti per auto, al 2030 si raggiungerebbe un valore di circa 1,55 da cui conseguirebbe un parco complessivo di circa 40 milioni di auto, di cui quindi 10 milioni elettriche, con la ripartizione tra le diverse tipologie mostrata in Figura 9.

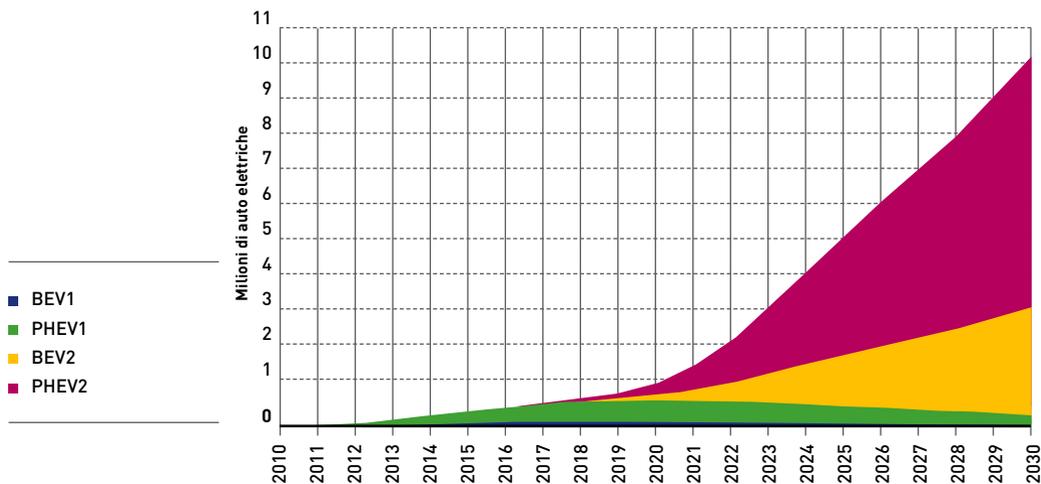
La distribuzione delle auto elettriche nelle varie province è stata determinata in base ai seguenti tre fattori:

- la consistenza del parco auto attuale in ciascuna provincia;
- il PIL procapite di ciascuna provincia;
- il numero medio di superamenti del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10 nei comuni capoluogo di provincia.

Il criterio utilizzato tiene conto del fatto che il numero di auto elettriche in ciascuna provincia è legato al numero totale di auto ed

FIGURA 9

Evoluzione delle auto elettriche circolanti per le diverse tipologie considerate.



Impatto sul sistema elettro-energetico

TABELLA 1

Consumi specifici medi delle auto elettriche attuali e ipotizzati al 2030.

Segmento	Consumo attuale ciclo standard [Wh/km]	Consumo attuale ciclo reale [Wh/km]	Consumo 2030 ciclo reale [Wh/km]
A - B	125	139	116
C - D	180	200	167

è condizionato sia dalla disponibilità economica (le auto elettriche saranno ancora per un tempo non breve più costose delle auto convenzionali), sia dalla qualità dell'aria che, se scarsa, potrebbe determinare l'implementazione di un sistema di vincoli/incentivi in grado di favorire la penetrazione delle auto elettriche. Con tale criterio, la penetrazione nei grandi centri urbani viene privilegiata.

Riguardo ai consumi specifici delle auto elettriche attuali, in Tabella 1 sono riportati i valori medi per segmento dichiarati dai costruttori per il ciclo standard. Cautelativamente, per tenere conto dei maggiori consumi che si hanno in un ciclo reale (dovuti a riscaldamento e condizionamento, luci, eccetera) i valori relativi al ciclo standard sono stati incrementati dividendoli per un fattore 0,9. Infine, scontando il continuo progresso tecnologico nel campo delle batterie, che porterà a incrementi della densità energetica specifica, e quindi a potenziali riduzioni di peso del veicolo, assumiamo una riduzione dei consumi specifici delle auto di circa l'1 per cento annuo fino al 2030, raggiungendo 116 Wh/km per le auto dei segmenti A e B e 167 Wh/km per le auto dei segmenti C e D.

In Figura 10 (a pagina 39) sono invece riportate le assunzioni sulla percorrenza media annua del parco auto elettriche nelle diverse tipologie. Si noti che le auto PHEV hanno percorrenze superiori alle auto puramente elettriche; le auto di seconda generazione sono caratterizzate da percorrenze superiori alle auto di prima generazione; e al crescere dell'età media del parco, le percorrenze diminuiscono.

Definita la percorrenza media annua, per le auto PHEV occorre assumere quale frazione venga percorsa utilizzando solo energia elettrica prelevata dalla rete, senza quindi fare ricorso al motore a combustione interna di bordo. Tale frazione, detta *utility factor*, è stata stimata facendo riferimento a quanto riportato nello studio EPRI [18]: i valori crescono negli anni da 0,55 a 0,68 per le auto PHEV1 e da 0,67 a 0,73 per le auto PHEV2.

Si noti che minore è la percorrenza media, più alto è lo *utility factor*, in quanto distanze percorse più brevi possono essere coperte più facilmente ricorrendo solo all'energia immagazzinata nelle batterie.

Con queste assunzioni è possibile determinare i consumi annui del parco auto elettriche considerato, mostrati in Figura 11: al 2030 il consumo annuo è pari a circa 17,5 TWh, corrispondenti a circa 18,7 TWh includendo le perdite di rete.

3.2

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.

Per determinare il numero di abitazioni che al 2030 disporranno di almeno un posto auto privato si è utilizzata la fonte ISTAT [19] che, partendo dalle previsioni Eurostat del 2008 sull'evoluzione della popolazione e assumendo la continuazione dell'andamento declinante del numero di persone per famiglia, stima al 2030 circa 29 milioni di famiglie, e quindi di abitazioni.

Partendo da una serie di considerazioni basate sui posti auto delle abitazioni esistenti, su quelli delle abitazioni nuove da costruire entro il 2030 per raggiungere i suddetti 29 milioni, 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 (66,7 per cento) 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 [20] e mostrata in Figura 12, ottenendo il Profilo 1 mostrato in Figura 13 (a pagina 40).

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 dispongono di un posto auto possa mettere in carica la propria

Impatto sul sistema elettro-energetico

FIGURA 10

Percorrenza media annua del parco auto elettriche per le diverse tipologie considerate.

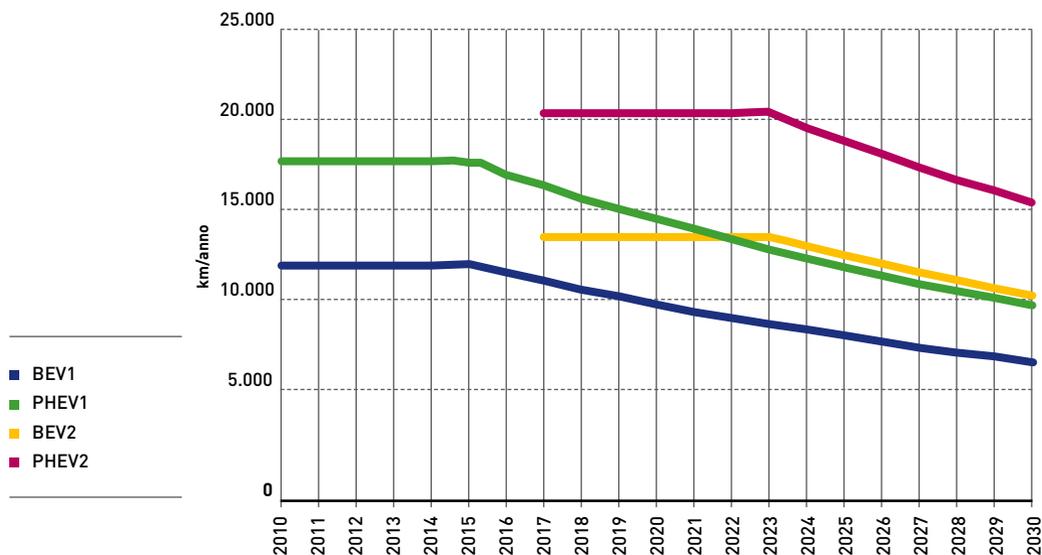


FIGURA 11

Consumi annui del parco auto elettriche per le diverse tipologie considerate.

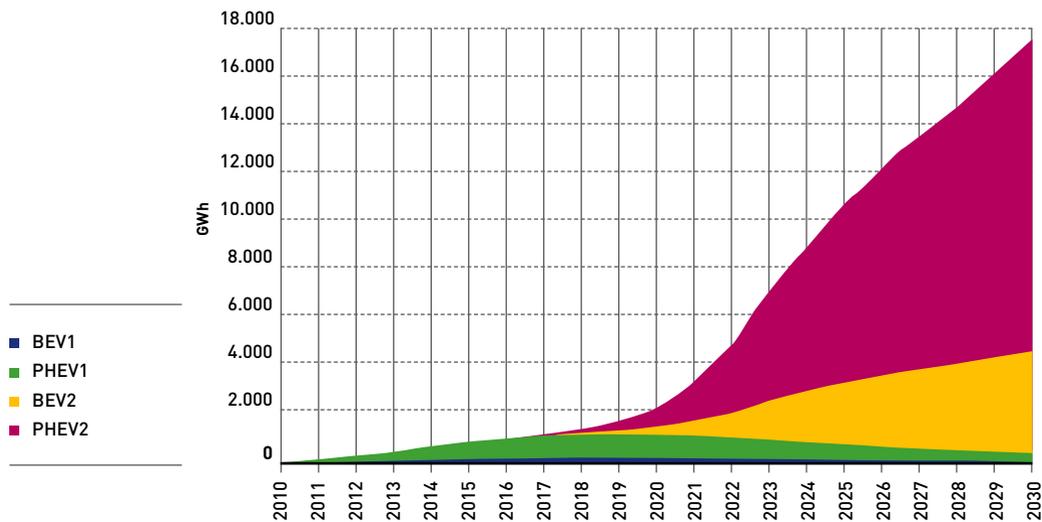


FIGURA 12

Spostamenti in auto a Milano e nel suo hinterland nelle 24 ore.
(fonte:[21])

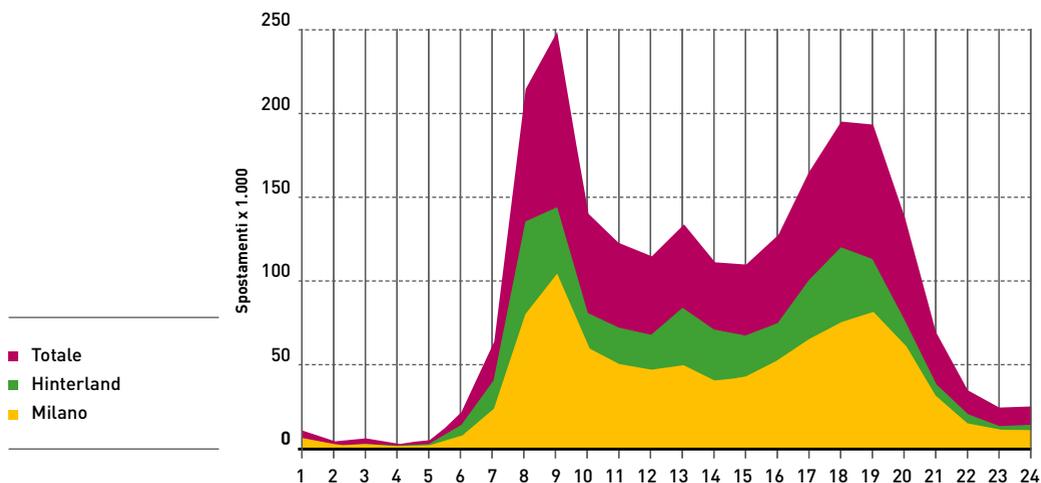
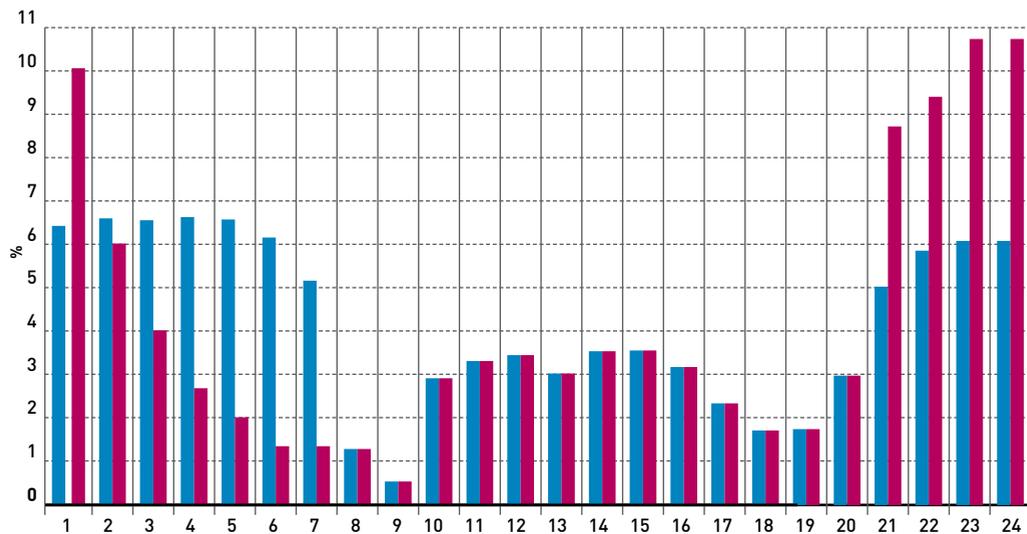


FIGURA 13

Profili orari di ricarica medi del parco auto elettriche considerato, nel caso di gestione "intelligente" dell'infrastruttura (Profilo 1) e di ricarica concentrata nella sera e nelle prime ore della notte (Profilo 2).

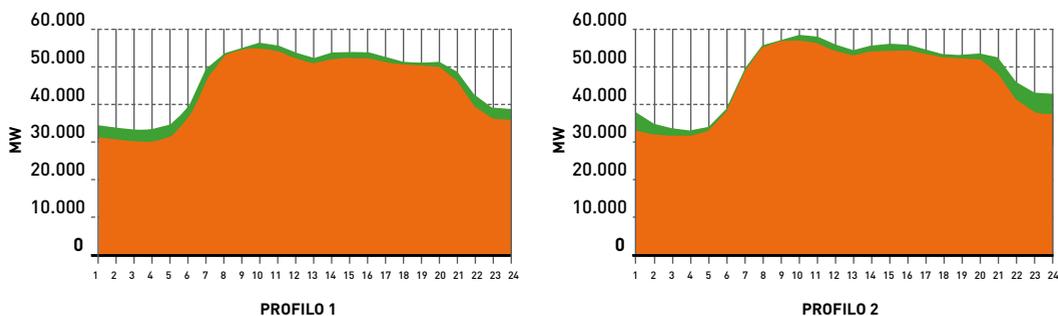
- Profilo 1
- Profilo 2



Impatto sul sistema elettro-energetico

FIGURA 14

Impatto dei profili di ricarica considerati sulla domanda elettrica di un giorno di primavera del 2030.



- Senza EV
- Con EV

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 13.

A titolo indicativo, la Figura 14 mostra l’impatto dei profili di ricarica considerati sulla domanda elettrica complessiva di un giorno di primavera (caratterizzato quindi da un basso carico) dell’anno 2030 preso a riferimento per il presente studio.

Nel seguito si valuta l’impatto sul sistema elettrico del Profilo 1 e del Profilo 2.

3.3

MODELLI DI SIMULAZIONE

La valutazione di impatto è stata effettuata mediante due modelli di simulazione del sistema elettrico nazionale: MATISSE [22] e MTSIM [23]. Il primo permette di analizzare scenari su un orizzonte temporale di lungo termine (tipicamente fino al 2050), combinando vincoli energetici, socio-economici e ambientali di scenari definiti dall’utente, al fine di determinare lo sviluppo ottimale – in termini di minimo costo complessivo – del sistema elettrico. Questo, sia sul lato della domanda (mettendo in competizione diverse tecnologie di uso finale al fine di fornire i servizi energetici richiesti) sia sul lato dell’offerta (mettendo in competizione diverse tecnologie di genera-

zione disponibili per soddisfare la domanda, su un orizzonte temporale di alcune decine d'anni).

Il secondo è un simulatore del mercato elettrico in grado di determinare il dispacciamento orario del parco di generazione e i prezzi di mercato su di un orizzonte temporale annuale, i consumi di combustibile e i costi di ciascun impianto termoelettrico, le emissioni di CO₂ e i relativi costi derivanti dai permessi di emissione, i ricavi, i profitti e le quote di mercato delle imprese di generazione modellate, così come i flussi di energia sulle interconnessioni tra le zone di mercato.

MTSIM è utilizzato in maniera sinergica con MATISSE: i risultati di quest'ultimo, in termini di evoluzione a lungo termine del sistema di generazione, sono usati come input per il primo che, focalizzandosi su di un anno specifico, può simulare l'esercizio del sistema elettrico in una maniera più accurata e dettagliata. In particolare, le simulazioni sono state effettuate con e senza la domanda derivante dalle auto elettriche, allo scopo di valutare l'impatto della loro penetrazione mettendo a confronto i risultati dei due casi.

3.4

ASSUNZIONI DI SCENARIO

Per valutare l'impatto della penetrazione delle auto elettriche sul sistema elettrico nazionale, dal punto di vista operativo, economico e ambientale, si sono messi a confronto i risultati di due simulazioni di scenari: *Con EV* caratterizzato dalla penetrazione delle auto elettriche descritta in precedenza, e *Senza EV*, che non considera alcuna penetrazione. Il primo dei due scenari, inoltre, è stato suddiviso in due sotto-scenari, caratterizzati ciascuno da uno dei due profili di ricarica sopra definiti. La domanda di energia elettrica nello scenario *Senza EV* raggiunge 362 TWh al 2030: nonostante l'elevata penetrazione di auto elettriche che è stata assunta nel presente studio a tale

TABELLA 2

Prezzi dei combustibili fossili e dei permessi di emissione di CO₂ assunti nello studio.

	2020	2030
Gas naturale [€/GJ]	9,4	9,4
Carbone [€/GJ]	2,3	1,9
Olio combustibile [€/GJ]	8,2	8,2
CO ₂ [€/t]	29,3	36,7

Impatto sul sistema elettro-energetico

anno (10 milioni di auto), la loro domanda corrisponde a un aumento della domanda elettrica complessiva inferiore al 5 per cento.

Quanto alle altre principali assunzioni di scenario, ci si limita qui a ricordare che per i combustibili fossili e i permessi di emissione di CO₂ si sono assunti i prezzi esplicitati in Tabella 2.

3.5

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI SCENARIO

I risultati delle simulazioni sullo sviluppo del sistema elettrico italiano mostrano che non vi sono significative differenze, in termini di capacità di generazione installata, tra gli scenari con e senza la prevista penetrazione delle auto elettriche. Ciò è dovuto al limitato impatto della domanda di energia elettrica relativa a tali veicoli, corrispondente a meno del 5 per cento della domanda complessiva per usi finali al 2030. Per quanto riguarda i risultati delle simulazioni sull'esercizio del sistema elettrico nazionale al 2030, in Tabella 3 sono riportate, per le diverse tecnologie di generazione coinvolte, le differenze di produzione tra gli scenari con e senza la penetrazione delle auto elettriche considerata (nel primo caso valutando l'impatto di entrambi i profili di ricarica definiti in precedenza).

Si può notare come la maggior parte del carico addizionale dovuto alle auto elettriche sia coperto da cicli combinati a gas naturale, ma con un non trascurabile contributo da parte di impianti a carbone, più elevato nel caso del Profilo 1. Si noti anche che la somma delle differenze di produzione risulta leggermente inferiore all'incremento di domanda dovuto alle auto elettriche, perdite incluse (18,7 TWh); ciò è dovuto a un minore utilizzo degli impianti idroelettrici di pompaggio negli scenari con auto elettriche.

Riguardo alle emissioni di CO₂ del sistema elettrico, con la penetrazione di auto elettriche assunta esse aumentano di 8,2 Mt con il Profilo 1 e di 8,3 Mt con il Profilo 2. Il costo dei permessi di emis-

TABELLA 3

Differenza di produzione tra gli scenari con e senza la penetrazione delle auto elettriche considerata.

Differenza di produzione [TWh]		
Tecnologia	Profilo 1	Profilo 2
Ciclo combinato a gas	12,0	13,6
Carbone	5,1	4,3
Carbone con CCS	1,0	0

TABELLA 4

Emissioni specifiche [gCO₂] per km percorso dalle auto elettriche appartenenti ai diversi segmenti.

Tipo auto	Profilo 1	Profilo 2
Segmenti A-B	54	55
Segmenti C-D	78	79

TABELLA 5

Consumi aggiuntivi di combustibili fossili del sistema di generazione dovuti alle auto elettriche.

Combustibile	Profilo 1	Profilo 2
Gas naturale [Gm ³]	2,3	2,6
Carbone [Mt]	1,8	1,4

sione di CO₂ cresce quindi di circa 300 milioni di euro in entrambi i casi. In termini di emissioni per kWh richiesto dalle auto elettriche (al netto delle perdite di rete), si tratta di 470 gCO₂/kWh con il Profilo 1 e di 474 gCO₂/kWh con il Profilo 2. Dividendo le emissioni di CO₂ aggiuntive del sistema elettrico per i km percorsi dalle auto elettriche considerate, si ottengono le emissioni specifiche al km, pari a 75 gCO₂/km con il Profilo 1 e a 76 gCO₂/km con il Profilo 2. In Tabella 4 sono riportati i valori relativi alle auto appartenenti ai diversi segmenti.

A titolo di confronto, le emissioni specifiche medie delle auto nuove vendute in Italia nel 2012 sono state pari a 126,2 gCO₂/km rispetto ai 141,5 gCO₂/km in Germania e ai 132,2 gCO₂/km nell'EU27 [23], mentre il Regolamento Europeo n. 443/2009 [24] definisce un obiettivo vincolante di 130 gCO₂/km da raggiungere entro il 2015 e il Parlamento Europeo ha recentemente votato una norma per ridurre a 95 gCO₂/km le emissioni al 2020.

Rispetto a tali termini di paragone, i risultati ottenuti dalle auto elettriche negli scenari qui considerati appaiono piuttosto incoraggianti. La produzione aggiuntiva di energia elettrica negli scenari che prevedono la penetrazione delle auto elettriche implica consumi aggiuntivi di gas naturale e di carbone quantificati in Tabella 5 e complessivamente corrispondenti a 3,1 Mtep.

A fronte di tali consumi aggiuntivi del sistema di generazione, vi sono i consumi evitati di gasolio e di benzina (per semplicità non consideriamo qui auto a metano o a GPL, che pure rappresentano opzioni tecnologiche interessanti sotto diversi aspetti) delle auto

Impatto sul sistema elettro-energetico

convenzionali sostituite da quelle elettriche. Difficile dire oggi quali saranno i consumi al 2030 di auto mosse da motori a combustione interna, tuttavia se come riferimento prendiamo l'obiettivo sopra citato di 95 gCO₂/km, i consumi delle auto convenzionali sostituite sarebbero pari a circa 3,4 Mtep (si veda la Tabella 6): le auto elettriche consentirebbero quindi un risparmio di circa 0,3 Mtep.

Le auto convenzionali sostituite avrebbero inoltre comportato maggiori emissioni di CO₂ rispetto a quelle determinate dalle auto elettriche: tali maggiori emissioni sarebbero state di 2,2 Mt con il Profilo 1 e di 2,1 Mt con il Profilo 2. Se tali maggiori emissioni fossero state gravate da una *carbon tax* uguale al prezzo dei permessi di emissione, il risparmio consentito dalle auto elettriche sarebbe quantificabile in circa 80 milioni di euro.

Per quanto riguarda l'impatto economico a livello di sistema, a parte le emissioni di CO₂, è possibile confrontare il costo del consumo aggiuntivo di gas naturale e di carbone nel sistema di generazione con il costo del gasolio e della benzina non consumati dalle auto convenzionali sostituite da quelle elettriche. In particolare, considerando prezzi industriali di benzina e gasolio corrispondenti al prezzo del petrolio assunto per il 2030 (90 dollari/bbl), come mostrato nella Tabella 7 i risparmi sui costi di combustibile sarebbero significativi, essendo dell'ordine di 1,8 miliardi di euro annui.

TABELLA 6

Consumi di combustibili delle auto convenzionali [@95 gCO₂/km] sostituite dalle auto elettriche.

Tipo auto	km/l	Mtep
Segmenti A-B (benzina)	24,6	0,5
Segmenti C-D (diesel)	27,6	2,9
Consumi totali		3,4

TABELLA 7

Impatto sui costi di combustibile degli scenari con la penetrazione delle auto elettriche considerata [M€].

Costi di combustibile	Profilo 1	Profilo 2
Extra-costi di combustibile per la generazione elettrica	850	934
Risparmi sui consumi delle auto convenzionali sostituite	2.710	2.710
Risparmi netti	1.860	1.776

Infine, si riportano i valori medi annui, pesati sulla domanda oraria complessiva, del Prezzo Unico Nazionale (PUN) che si determina sulla Borsa Elettrica negli scenari con e senza auto elettriche: si può notare come la penetrazione di auto elettriche considerata provochi un incremento del PUN di circa il 9%, pari a circa 7 €/MWh (a questo riguardo non vi sono significative differenze tra Profilo 1 e Profilo 2).

TABELLA 8

Impatto sul Prezzo Unico Nazionale (PUN) della penetrazione delle auto elettriche considerata.

Senza EV	Con EV	Δ con/senza EV
76	83	7

Si noti che le diverse non-linearità che caratterizzano l'algoritmo di *clearing* della Borsa Elettrica e di definizione del PUN fanno sì che la differenza di prezzo dell'energia elettrica tra gli scenari con e senza le auto elettriche sia significativamente dipendente dalle assunzioni complessive di scenario. Inoltre, tali differenze potrebbero essere influenzate anche da un cambiamento della strategia di offerta dei partecipanti al mercato (qui assunta costante per semplicità) nel caso di incremento della domanda dovuto alle auto elettriche.

Pertanto, i sopra citati 7 euro/MWh devono essere considerati più come un ordine di grandezza che come un valore esatto. In ogni caso, il costo di acquisto dalla Borsa Elettrica dell'energia (perdite incluse) necessaria ad alimentare il parco di auto elettriche considerato può stimarsi in circa 1,4 miliardi di euro annui, il che implica un risparmio netto di circa 1,3 miliardi di euro, rispetto ai risparmi sui consumi di gasolio e benzina delle auto convenzionali sostituite valutati in precedenza.

In conclusione, i risultati delle simulazioni di scenario effettuate portano a stimare che anche una diffusione di 10 milioni di auto elettriche al 2030 ha un impatto marginale (inferiore al 5 per cento) sullo sviluppo e sull'esercizio del sistema di generazione, riduce le emissioni di CO₂ complessive, i consumi di combustibili fossili e i relativi esborsi economici, valutati in un risparmio di circa 1,8 miliardi di importazioni di combustibili fossili.

Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita

In questo capitolo vengono discussi alcuni aspetti ambientali riguardanti l'impiego di diverse tecnologie per la mobilità sostenibile, in particolare l'utilizzo delle tipologie di veicoli elettrici introdotti al Capitolo 2 nel caso di trasporto privato (o commerciale leggero), confrontati con veicoli a motore a combustione interna.

Il capitolo focalizza l'attenzione sui veicoli elettrici: di tipo elettrico puro (*battery o pure battery electric vehicle*, BEV o PEV) e ibrido, ovvero integrazione tra batteria e motore a combustione interna sia ricaricabili da rete (*plug in hybrid electric vehicle*, PHEV) sia di tipo tradizionale (*hybrid electric vehicle* HEV), confrontandone il ciclo di vita mediante la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA).

Successivamente si affronta l'impatto sulla qualità dell'aria, partendo dallo scenario di diffusione di veicoli elettrici al 2030 illustrato nel Capitolo 3. In particolare, vengono valutate in termini di bilancio a scala nazionale e su base territoriale le variazioni delle emissioni e le conseguenti variazioni delle concentrazioni in aria ambiente. Nelle valutazioni, effettuate con un modello matematico, si determina la variazione della qualità dell'aria dovuta alla riduzione delle emissioni associate ai trasporti e all'incremento delle emissioni associate al settore termoelettrico per la fornitura dell'energia elettrica necessaria a caricare le batterie.

Infine, dopo una breve descrizione delle cosiddette *terre rare* (REs) per quanto riguarda le caratteristiche, l'estrazione, il mercato e le applicazioni, viene presentata l'attuale situazione relativa al loro recupero e riciclo, in particolare dagli accumulatori e dai super magneti permanenti.

Infatti, un'eventuale forte espansione nei prossimi anni del mercato dei veicoli elettrici potrebbe mettere a rischio la fornitura di questi Materiali Strategici (MS) che sono utilizzati in abbondanza nelle tecnologie di questo settore. Tra le varie strategie di approvvigionamento, quella del recupero e riciclo dei MS (tra cui le REs), risulta essere la più percorribile in tempi brevi, anche se i processi attualmente disponibili necessitano di essere migliorati dal punto di vista dell'efficienza, dell'economicità e dell'impatto ambientale [25].

4.1

EMISSIONI E COSTI ESTERNI A CONFRONTO

L'introduzione, nel mercato italiano ed europeo, di PHEV e di BEV per il trasporto passeggeri si rivela una grande opportunità per ridurre gli episodi di inquinamento urbano che si verificano nelle nostre città. È quindi la qualità ambientale uno dei principali *driver*

che induce i Gruppi automobilistici a puntare su motorizzazioni elettriche o ibride ricaricabili dalla rete. Tuttavia, così come sono evidenti i vantaggi ambientali dell'uso dei veicoli, è altrettanto evidente che, a fronte di questa riduzione di impatti nella "fase di utilizzo del veicolo", dovuti a ridotte o nulle emissioni atmosferiche, si verifica un aumento di impatti in tempi e luoghi diversi.

Occorre infatti produrre, ricaricare e smaltire le batterie. La produzione, lo smaltimento e l'energia necessaria per ricaricare tali batterie comportano impatti ambientali. Per capire quale sia il costo ambientale da pagare a fronte dei vantaggi offerti dai veicoli ibridi plug-in ed elettrici, occorre quindi analizzare tutto il ciclo di vita dei veicoli e confrontarli quelli a combustione interna e ibridi. A questo fine, uno degli strumenti di indagine scientifica più interessanti è l'analisi del ciclo di vita, o Life Cycle Assessment.

Sono numerosi i lavori che confrontano auto elettriche e auto convenzionali in termini di ciclo di vita o per lo meno di analisi *well to wheel* (dal pozzo alla ruota, quindi analizzando solo il ciclo di produzione e utilizzo del vettore energetico, ovvero l'energia elettrica, il gasolio o la benzina).

Ecco alcuni risultati *banali*: a) qualora l'energia elettrica fosse prodotta esclusivamente da fonti rinnovabili l'auto elettrica avrebbe molti aspetti ambientali favorevoli rispetto alle concorrenti; b) qualora invece l'energia elettrica provenisse da sole centrali a carbone le auto elettriche potrebbero inquinare più di un'auto convenzionale. Tuttavia, pochi studi si sono interrogati su quale sia realmente il mix di fonti e tecnologie che ricaricherebbe le auto elettriche in funzione di quando e dove vengono ricaricate.

Un altro aspetto sorprendente è che quasi nessuno studio, pur confrontando auto elettriche e auto a combustione interna, considera la soluzione intermedia o, se si vuole, la naturale evoluzione dell'auto a combustione interna: l'auto ibrida non ricaricabile dalla rete (in commercio da svariati anni). La ricerca RSE [26] supera questi limiti, confrontando in termini di analisi del ciclo di vita, auto convenzionali, auto elettriche auto ibride e auto ibride plug-in¹ analoghe per prestazioni e comfort.

I veicoli a confronto

Vengono prese in considerazione le seguenti tipologie:

¹ Ovvero dotate di una discreta autonomia in modalità elettrica (da pochi chilometri a molte decine) con batterie ricaricabili dalla rete elettrica.

Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita

- veicoli puramente elettrici, con un'autonomia di 180 km (BEV). Tale autonomia è simile ad esempio a quella della Nissan Leaf secondo il ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*);
- veicoli ibridi plug-in (PHEV), ovvero capaci di muoversi tramite propulsione elettrica, tramite un motore a combustione interna, tramite una combinazione dei due PHEV, come ad esempio la Opel Ampera.

Sono considerati veicoli PHEV dotati di diversa autonomia in modalità elettrica, in analogia a quanto fatto da importanti studi [27], dato che l'autonomia ha un ruolo fondamentale nel determinare gli impatti ambientali dei veicoli.

I veicoli elettrici indicati sono confrontati non solo con veicoli tradizionali a combustione interna a benzina (*Internal Combustion Engine* – ICE) ma anche con veicoli ibridi tradizionali (HEV). Seguendo le indicazioni della norma ISO 14040 i veicoli sono confrontati sulla base dell'Unità Funzionale² che è di 100 km*passaggero.

Nel caso di studi LCA finalizzati al confronto di filiere alternative, come il presente, risulta fondamentale scegliere sistemi capaci di offrire due servizi il più possibile simili. Per questo sono stati individuati veicoli a propulsione diversa ma il più simile possibile per il resto, eliminando tutte quelle differenze di comfort, estetica, strumentazione o altro non legati direttamente al sistema di propulsione.

Il punto di partenza è stata la Toyota Auris, auto di taglia media per la quale esiste una versione a sola combustione interna e una ibrida di prestazioni molto simili. Tali versioni sono appunto la Toyota Auris Hybrid e la Toyota Auris 1.6 Valvematic. Pur non essendoci ad oggi in commercio una Toyota Auris Ibrida plug-in, è lecito supporre che se ne possa sviluppare una a breve sulla stessa base, così come è accaduto per la Toyota Prius plug-in. Per quanto riguarda l'auto elettrica, sempre per confrontare auto molto simili, si è considerata un'auto "tipo" di medesime dimensioni e prestazioni, come può essere la Nissan Leaf.

² L'unità funzionale costituisce il metro di misura del sistema in esame. In altre parole, i flussi fisici contabilizzati nell'inventario, tutti gli ingressi e le uscite di energia e materiali, sono relativi alla quantità di servizio espresso dall'unità funzionale. Nell'esempio classico di un contenitore per liquidi, l'unità funzionale sarà la sua capacità, ad esempio un litro. Nel nostro caso il servizio reso dal sistema è il trasporto di passeggeri ed è quindi logico che l'unità funzionale sia costituita dal prodotto tra una distanza e un numero di passeggeri.

Le filiere in esame e il ruolo delle batterie

Cosa intendiamo con l'analisi del ciclo di vita? Senza scendere nel dettaglio dei singoli processi produttivi, ciascuna delle filiere consiste di tre parti: una parte è la costruzione e smaltimento del mezzo di trasporto, un'altra è costituita dall'approvvigionamento della fonte di energia da esso utilizzata nella fase d'esercizio mentre l'ultima è costituita dal processo di produzione e smaltimento della batteria.

Queste tre parti principali della filiera produttiva convergono nella fase di utilizzo del veicolo che vedono coinvolte il vettore energetico, il veicolo e la batteria (anche per il veicolo a combustione interna, per la presenza della batteria per l'avviamento e i servizi ausiliari).

Oltre a questa descrizione schematica, occorre chiarire alcuni aspetti. Innanzi tutto, poiché un ruolo importante è giocato dalla tecnologia delle batterie considerate, è necessario chiarire di quali batterie ci stiamo occupando nei diversi casi in esame. Si tratta di batterie al litio per veicoli PHEV e BEV e di batterie al nichel-metallo idruro (Ni-MH) per i veicoli HEV.

Inoltre, per quanto riguarda gli impatti ambientali dei PHEV occorre stimare un parametro importante: la quota parte di percorrenza annua effettuata in modalità elettrica (detto *utility factor*).

Utility factor dipende essenzialmente dall'autonomia in modalità solo elettrica e dalle abitudini di guida (percorrenza media annua e percorrenza giornaliera). È chiaro che l'autonomia in modalità solo elettrica dei veicoli PHEV influenza la percentuale di chilometri annui percorsi in modalità elettrica in quanto, al crescere dell'autonomia, aumenteranno il numero e la tipologia di percorsi in cui è possibile utilizzarla.

TABELLA 9

Consumi energetici per l'unità funzionale.

(L'acronimo PHEV è seguito dai km di autonomia solo elettrica).

	Unità	ICE (benzina)	HEV	PHEV 16	PHEV 32	PHEV 64	EV
Percorrenza annua	km	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Autonomia elettrica	km	0	0	16	32	64	200
Utility factor	%	0	0	12	49	66	100
Consumo di benzina	km/l	15,15	26,32	26,32	26,32	26,32	0
Consumo di elettricità	kWh/km	0	0	0,19	0,19	0,19	0,19
Consumo combinato 100 km	l (benzina)	6,6	3,8	3,34	1,94	1,29	0
	kWh (elettricità)	0	0	2,28	9,31	12,54	19

Secondo le ipotesi dell'EPRI [28] l'*utility factor* per i PHEV varia dal 12 al 66 per cento. La Tabella 9 mostra l'influenza di tale parametro sui consumi dei PHEV con autonomia in modalità solo elettrica di 16, 32 e 64 km. I consumi delle auto a combustione interna sono quelli di una Toyota Auris, presa come riferimento. I consumi delle auto ibride sono anch'essi quelli della Toyota Auris ibrida³, mentre quelli delle auto elettriche sono derivati da letteratura [29] per auto di taglia simile, e confermati da campagne di misura effettuate da RSE [30]. Il consumo considerato è pari a 0,19 kWh/km. È un dato in linea con quanto stimato da un recente studio americano [31].

Il ruolo del sistema di produzione dell'energia elettrica

Come accennato nell'introduzione, per stabilire quali siano gli impatti dei PHEV e degli EV è necessario individuare innanzi tutto quale sia il mix di fonti e tecnologie utilizzate per produrre l'energia elettrica che ricarica le batterie.

Infatti, se i dati relativi al ciclo di vita delle batterie provengono dal database *Ecoinvent*⁴ [32], così come i dati relativi alla costruzione e al fine vita dei veicoli e quelli relativi al ciclo di vita della benzina⁵, nel caso dell'energia elettrica la questione è più complessa. L'energia che ricarica la batteria dipenderà da dove ci troviamo, in quale nazione e da quando gli utenti pensano di ricaricare la batteria. In funzione dell'orario di ricarica, infatti, potranno entrare in produzione impianti diversi. Se ipotizziamo un profilo di ricarica come quello utilizzato nello studio EPRI [18], quindi con una ricarica prevalentemente notturna, si può pensare che l'energia che ricaricherà le batterie sarà prevalentemente termoelettrica.

Queste ipotesi sono valide nell'immediato, quando la domanda di energia elettrica per la ricarica delle auto è prevista piccola rispetto al totale. Se invece la diffusione delle auto elettriche cresce, la domanda cresce in proporzione ed è quindi necessario capire come questa domanda di energia elettrica aggiuntiva sia in grado di influenzare il parco produttivo stesso. Spostandoci dunque di riferimento al 2030, secondo lo scenario e i modelli presentati nel Capitolo 3, l'energia

³ Si rimanda al rapporto RdS 11001143 (Girardi P. 2011).

⁴ Ecoinvent è il database LCA più utilizzato al mondo (www.ecoinvent.org).

⁵ I dati si riferiscono alla benzina prodotta e distribuita nella comunità europea in base al mix di greggio importato. Un ruolo importante negli impatti del ciclo di vita della benzina lo giocano le fasi di estrazione e trasporto del greggio.

utilizzata per la ricarica delle batterie proverrà essenzialmente da centrali a ciclo combinato a gas naturale (per il 66,5 per cento), da centrali a carbone senza recupero di CO₂ (28 per cento) e da centrali a carbone con recupero di CO₂ (5,5 per cento) [33].

Sulla base di queste considerazioni occorre quindi stimare gli impatti ambientali non della generica energia elettrica del sistema di produzione, ma di quella quota parte che andrà a ricaricare la batteria. Per quanto riguarda lo scenario termoelettrico attuale è stata ricostruita in dettaglio un'analisi LCA [34].

Per quanto riguarda lo scenario futuro, quello al 2030, per realizzare lo studio della LCA dell'energia elettrica che ricarica le batterie si sono utilizzate le ipotesi del progetto NEEDS^a, nel quale sono descritti gli impatti dei sistemi di produzione di energia elettrica nel medio lungo periodo (2020-2050).

Confronto delle prestazioni ambientali

Al fine di confrontare tra loro i veicoli sono state scelte 6 categorie di impatto tra quelle suggerite dal JRC di Ispra [35] nelle linee guida per il LCIA (Life Cycle Impact Assessment) nel contesto europeo. Le categorie di impatto selezionate tengono conto dell'inquinamento atmosferico e del riscaldamento globale, in quanto questi sono i due principali motivi che hanno spinto all'introduzione di veicoli elettrici. Ci si riferisce in particolare alla acidificazione atmosferica (metodo CML Air Acidification), alla formazione di smog fotochimico (metodo CML photochemical oxidant formation), all'effetto serra (metodo IPCC a 100 anni).

Al fine di comprendere anche altre matrici ambientali, sono state considerate anche l'eutrofizzazione (metodo CML eutrophication), la riduzione dello strato di ozono (metodo CML ozone layer depletion) e la tossicità per gli uomini (metodo USES Human Toxicity) che comprende, oltre a emissioni atmosferiche, anche inquinanti solidi e liquidi. Il contributo alle diverse categorie di impatto è relativo alla copertura di una distanza di 100 km (l'unità funzionale).

Per lo scenario "attuale" i risultati mostrano che i veicoli BEV e – in misura minore – i PHEV possono contribuire a ridurre gli impatti a scala locale (come la formazione di ossidanti fotochimici) o globale (come la riduzione della fascia di ozono stratosferico).

Tuttavia su impatti a scala regionale, come l'acidificazione atmosferica, o globale come l'effetto serra, i veicoli BEV e PHEV, pur

avendo impatti minori rispetto agli ICE, non hanno impatti minori rispetto ai veicoli HEV, che dovrebbero in prospettiva costituire il vero benchmark. Infine, per quanto riguarda categorie di impatto quali eutrofizzazione e tossicità umana, i veicoli elettrici risultano penalizzanti proprio in funzione della loro autonomia, ovvero della dimensione delle batterie, perché è il processo di produzione delle batterie a incidere maggiormente su queste categorie di impatto.

Passando allo scenario 2030, il confronto tra i vari veicoli viene stravolto. Rimangono i punti di criticità legati al ciclo di vita delle batterie che rendono poco attraenti PHEV e BEV rispetto a categorie di impatto quali eutrofizzazione e tossicità umana.

Rimane confermato il contributo che i PHEV e in misura maggiore i BEV possono dare alla riduzione di impatti quali l'assottigliamento dello strato di ozono e la formazione di ossidanti fotochimici. Inoltre, rispetto allo scenario attuale, risulta che i BEV sono in grado di ridurre le emissioni di gas acidi in atmosfera. Per quanto riguarda l'effetto serra, invece, si conferma che, pur essendo più competitivi rispetto ai veicoli ICE, non hanno prestazioni sostanzialmente migliori rispetto ai veicoli HEV.

I costi esterni

Sulla base dei risultati illustrati nel paragrafo precedente, si sono stimati i costi esterni dei diversi veicoli. L'approccio utilizzato è quello sviluppato nel progetto NEEDS e illustrato nel rapporto [36]. Tale approccio semplificato si basa sulla realizzazione di matrici "emissione-recettore" anziché sul classico metodo del percorso degli impatti.

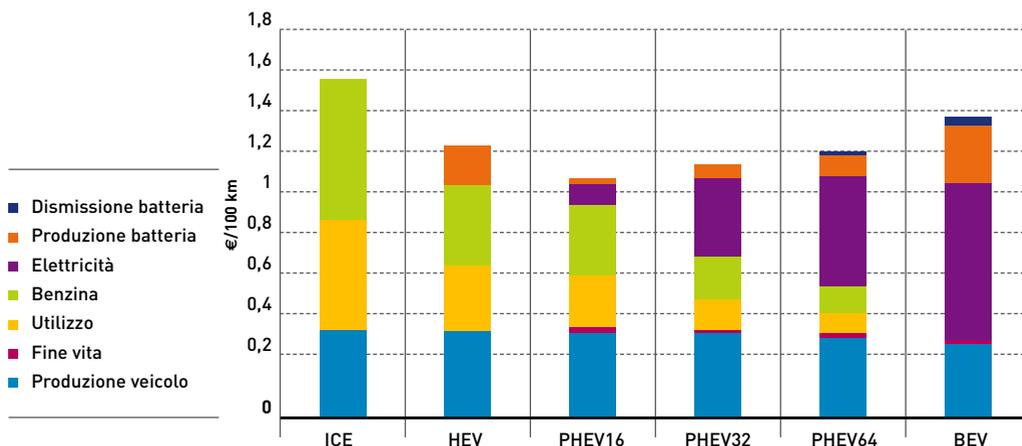
In sintesi, è stato possibile associare a ciascuna unità di emissione in ciascuno Stato europeo (e in 5 Stati del Nord Africa) il relativo costo esterno [37]. Tale costo esterno è stato calcolato, allo stesso modo, anche per gli impatti (sulla sola salute umana) al di fuori dell'Europa ma ricadenti all'interno dell'emisfero Nord [38]. Il costo esterno per unità di emissione è stato calcolato in base all'anno in cui avviene l'emissione e in base all'altezza dell'emissione.

Gli inquinanti per i quali sono disponibili i dati sono quelli "classici" della metodologia Externe: ammoniaca (NH_3), composti organici volatili non metanici (NMVOC), ossidi d'azoto (NO_x), particolato atmosferico (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), biossido di zolfo (SO_2). Per tali inquinanti sono state calcolate le esternalità, in relazione alla salute umana, all'agricoltura, alle biodiversità, ai materiali.

Per quanto riguarda la salute umana sono calcolate anche le esternalità per unità di emissione di altri elementi nocivi quali cadmio, arsenico, nickel, piombo, mercurio, cromo, cromo esavalente,

FIGURA 15

Confronto tra veicoli a benzina con sola combustione interna (ICE), ibridi (HEV), ibridi ricaricabili da rete con diversa autonomia (PHEV, seguiti dai km di autonomia) e puramente elettrici (BEV). Sono evidenziati i contributi delle diverse fasi del ciclo di vita. Scenario 2009.



formaldeide e diossina. Nello scenario attuale (2009) il veicolo che, sommando le esternalità legate alle emissioni di inquinanti atmosferici e gas a effetto serra, genera i minori costi esterni è il veicolo ibrido plug-in con 16 km di autonomia (PHEV 16). I grafici in queste pagine mostrano il confronto tra le esternalità delle diverse tipologie di auto per percorrere 100 km (in euro 2009), evidenziando il contributo delle fasi del ciclo di vita (Figura 15).

Analogamente per il 2030 i grafici mostrano il confronto tra le esternalità delle diverse tipologie di auto per percorrere 100 km (€_{2030}) evidenziando il contributo delle fasi (Figura 16).

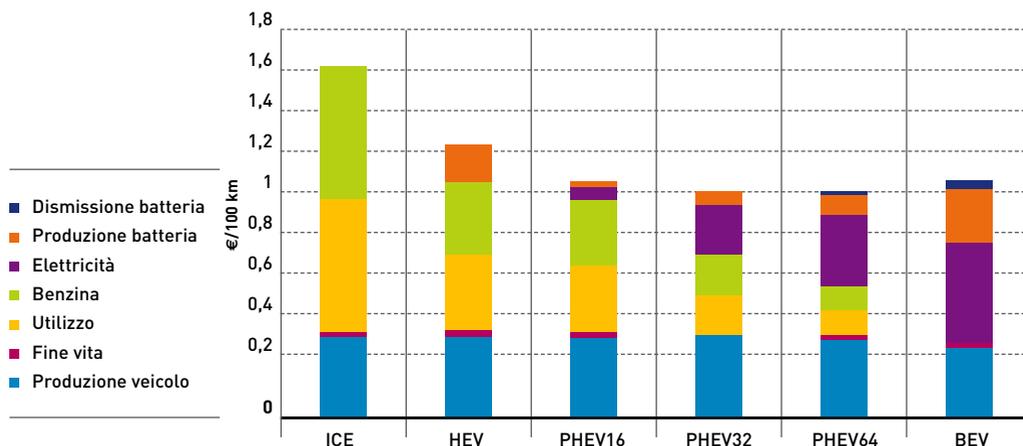
In questo caso l'auto con minori costi esterni è la PHEV32 e le auto non ricaricabili dalla rete hanno costi esterni maggiori di quelle con batterie ricaricabili dalla rete. In entrambi gli scenari le esternalità dominanti sono quelle sulla salute umana.

Conclusioni

L'introduzione di veicoli a trazione elettrica, oltre a ridurre le emissioni inquinanti in aree urbane, porta a una riduzione di impatti in generale per le categorie di impatto legate alle emissioni atmosferiche (formazione di ossidanti fotochimici, acidificazione atmosferica e riduzione della fascia di ozono stratosferico). E questo

FIGURA 16

Confronto tra veicolo ICE, HEV, PHEV (seguiti dai km di autonomia) e BEV. Sono evidenziati i contributi delle diverse fasi del ciclo di vita. Scenario 2030.



nonostante il fatto che il mix energetico considerato per le batterie non comprenda fonti rinnovabili ma solo fonti fossili.

Come contro-partita si avrebbe un aumento di inquinanti tossici (tossicità umana) ed elementi eutrofizzanti legati al ciclo di vita (costruzione e dismissione) delle batterie. Tale contro-partita rimarrebbe tale anche in scenari di recupero e riciclo spinto delle batterie in grado di abbattere fino al 70 per cento i consumi energetici, come avviene in processi già disponibili commercialmente [39].

Per quanto riguarda l'effetto serra, la diffusione di veicoli privati elettrici non è in grado, di per sé, di ridurre le emissioni di gas climalteranti rispetto ai veicoli ibridi, ma solo rispetto ai veicoli tradizionali. In altre parole, se è vero che i veicoli elettrici puri e plug in sono in grado di ridurre del 40 per cento le emissioni a effetto serra rispetto ai veicoli tradizionali a benzina con pari prestazioni, anche se ricaricati da energia termoelettrica fossile, una simile riduzione di emissioni sarebbe ottenibile dalla diffusione dei veicoli ibridi non ricaricabili da rete attualmente in commercio. La possibilità quindi di incidere positivamente anche su questa categoria di impatto, all'attenzione di molte politiche nazionali e internazionali, dipende da scelte strategiche sul sistema elettrico da effettuare nel prossimo futuro.

Se una strategia che puntasse fortemente sulle rinnovabili per il

settore elettrico renderebbe BEV e PHEV in grado di ridurre le emissioni climalteranti del trasporto privato, in uno scenario opposto, in cui le centrali a carbone fossero le più competitive per la ricarica delle batterie, la diffusione di veicoli BEV e PHEV porterebbe a un peggioramento rispetto ai veicoli ibridi (HEV), attestandosi sui livelli di emissione dei veicoli a combustione interna.

Eventuali miglioramenti dei sistemi di produzione e di smaltimento delle batterie potrebbero ridurre le emissioni di inquinanti legati alla tossicità umana ed eutrofizzazione, vero vantaggio dei veicoli elettrici.

Riassumendo le diverse emissioni atmosferiche in un unico indicatore, i costi esterni, si nota come le auto elettriche abbiano dei costi esterni, soprattutto in termini di tossicità umana, inferiori a HEV e ICE nonostante, negli scenari considerati, l'energia necessaria per la ricarica delle batterie provenga esclusivamente da impianti termoelettrici alimentati da fonti fossili.

4.2

LA QUALITÀ DELL'ARIA

Un problema in evoluzione

La gestione della qualità dell'aria dei contesti urbani rimane un problema largamente irrisolto in diverse aree dell'Unione Europea e le principali aree urbane italiane, e della Pianura Padana in particolare, non fanno eccezione.

Da un punto di vista normativo, lo strumento legislativo di riferimento a livello europeo è costituito dalla direttiva 2008/50/EC e dai corrispondenti recepimenti nazionali. Gli elementi chiave della legislazione europea sono i *valori limite* e i *valori target*. Essi vengono definiti per ogni inquinante stabilendo un'apposita soglia accompagnata dalla definizione della metrica da utilizzare, il periodo di mediazione e l'eventuale scadenza entro la quale deve verificarsi il loro rispetto. I primi sono legalmente vincolanti e non devono essere superati. I valori target, invece, rappresentano un obiettivo più ambizioso e miglioramenti ulteriori dei livelli di qualità dell'aria, che dovrebbero essere raggiunti attraverso opportune politiche di risanamento.

Il confronto fra l'attuale stato della qualità dell'aria, descritto dall'insieme dei dati osservati e modellati disponibili su una determinata area, e i corrispettivi obiettivi di legge evidenzia come le principali problematiche che affliggono le aree europee e italiane siano

TABELLA 10

Frazione (%) della popolazione urbana della UE esposta a livelli di inquinamento atmosferico superiori ai livelli di riferimento stabiliti dalla legislazione UE (a sinistra) o indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (a destra), in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, per il periodo 2008-2010. (fonte [41])

Valori di riferimento normativa europea	Popolazione esposta (%)	Valore di riferimento OMS	Popolazione esposta (%)
Anno (20)	16-30	Anno (10)	90-95
Giorno (50)	18-21	Anno (20)	80-81
Massimo media mobile 8 ore (120)	15-17	Massimo media mobile 8 ore (100)	→ 97
Anno (40)	6-12	Anno (40)	6-12
Anno (1 ng/m^3)	20-29	Anno (0,12 ng/m^3)	93-94
Giorno (125)	< 1	Giorno (20)	58-61
Massimo media mobile 8 ore (10 mg/m^3)	0-2	Massimo media mobile 8 ore (10 mg/m^3)	0-2

Codifica colori relativi alla frazione di popolazione urbana esposta ad una concentrazione superiore al valore di riferimento

< 10%	10-50 %	50-90 %	→ 90 %
-------	---------	---------	--------

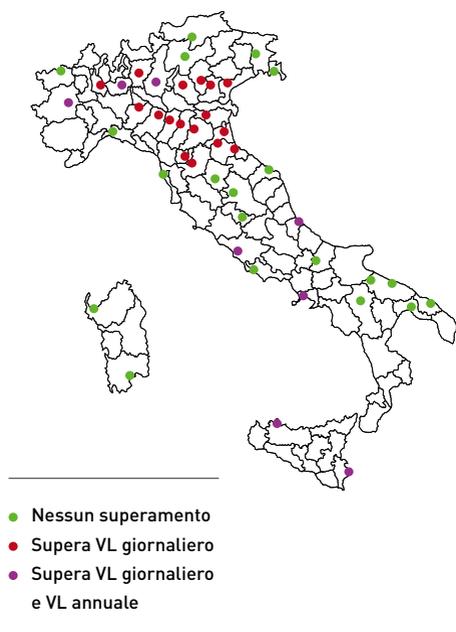
legate soprattutto all'inquinamento da polveri sottili (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), biossido d'azoto e ozono. A titolo di esempio, la Tabella 10 riporta la valutazione del grado di esposizione della popolazione urbana all'inquinamento atmosferico, espresso come frazione della popolazione soggetta a livelli di qualità dell'aria che eccedono gli standard previsti dalla normativa EU e dalle indicazioni dell'organizzazione mondiale della sanità (WMO). Si evince chiaramente dalla tabella che il rispetto degli standard è largamente disatteso, in particolar modo per quanto riguarda le polveri, l'ozono e il Benzo(a)Pirene "BaP" (un composto della famiglia degli idrocarburi policiclici aromatici).

A livello nazionale, tale situazione è oggettivamente fotografata dalle stazioni di monitoraggio che evidenziano come lo stato della qualità dell'aria in Italia sia tra i più critici dell'Unione Europea.

Sempre nel recente rapporto *Air quality in Europe - 2012 report* [40] si evidenzia come nel 2010 l'Italia fosse ancora tra i primi Paesi dell'Europa occidentale in termini di superamento dei limiti normativi per il particolato atmosferico, e il secondo Paese in tutta l'Unione Europea per il numero di superamenti degli standard per l'ozono, dietro la sola Slovenia. Analoghe considerazioni si evincono dal rap-

FIGURA 17

PM₁₀ (2010) – Superamenti del valore limite giornaliero (50 µg/m³; max 35 sup.) e del valore limite annuale (40 µg/m³) nelle aree urbane italiane. (fonte [41])



porto dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) sulla "Qualità dell'ambiente urbano" [41]. Come si può osservare dalla Figura 17, la situazione della qualità dell'aria nei centri urbani italiani presenta una diffusa criticità, soprattutto nelle aree del Centro Nord.

Lo strumento normativo utilizzato dagli enti preposti alla gestione della qualità dell'aria è costituito dai *piani di risanamento della qualità dell'aria*, all'interno dei quali vengono delineate le possibili strategie di intervento. L'analisi effettuata da ISPRA evidenzia che il settore dei trasporti costituisce l'area di intervento privilegiata nel corso dell'intero quinquennio 2005-2009. In particolare, le iniziative più ricorrenti sono quelle che promuovono la mobilità alternativa all'utilizzo del mezzo privato individuale, l'uso del trasporto pubblico, la diffusione di mezzi di trasporto privato a basso impatto ambientale. Tra queste ultime rientrano, ovviamente, anche le iniziative a favore della mobilità elettrica.

Occorre comunque precisare che, sia in ambito europeo sia italiano, si riscontra una oggettiva difficoltà nell'individuare politiche d'intervento che risultino realmente efficaci.

Studio della qualità dell'aria a scala nazionale

Dagli scenari di evoluzione della mobilità e di produzione di energia elettrica descritti nel Capitolo 3 occorre derivare gli scenari emissivi, attraverso i quali è possibile determinare gli effetti sulla qualità dell'aria delle politiche di mobilità ipotizzate. A causa della natura degli inquinanti considerati occorre provvedere a sommare le emissioni dovute sia alle automobili e al settore termoelettrico, sia le emissioni delle altre attività antropiche (industria, riscaldamento, altri trasporti, eccetera). Sono stati considerati tre diversi scenari:

- la situazione attuale (caso base);
- uno scenario evolutivo al 2030 del settore trasporti e produzione di energia elettrica senza introduzione del veicolo elettrico;
- uno scenario evolutivo al 2030 del settore trasporti e produzione

TABELLA 11

Emissioni nazionali 2005 in milioni di grammi [Mg] e in percentuale [%] – Confronto tra emissioni del settore termoelettrico, del trasporto su strada e altro. (Fonte: elaborazione RSE su dati ISPRA)

Emissioni anno 2005		NH ₃	VOC	SO _x	CO	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
	[Mg]							
Totale emissioni	tonnellate	411.595	1.212.868	2.863.170	3.818.704	1.057.554	171.152	136.164
Centrali termoelettriche	[%]	0,05	0,34	3,92	0,79	7,92	2,05	2,45
Automobili	[%]	3,64	14,48	0,05	37,46	21,44	12,76	13,01
Altro trasporto su strada	[%]	0,11	15,76	0,04	17,90	25,74	15,38	16,99
Altro	[%]	96,20	69,42	96,00	43,86	44,90	69,81	67,56
Totale	[%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

di energia elettrica che preveda anche l'introduzione del veicolo elettrico.

Scenario emissivo caso base

Lo scenario emissivo che descrive la situazione attuale è stato derivato dagli inventari emissivi ufficiali disponibili a livello nazionale e internazionale. La presente analisi fa riferimento all'anno 2005. La Tabella 11 riporta il computo complessivo delle emissioni totali nazionali, derivate dall'Inventario Nazionale 2005 con risoluzione provinciale redatto da ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ex APAT) [42].

Dall'esame della tabella si può notare il ruolo significativo delle emissioni prodotte dalle automobili, che concorrono con circa il 13 per cento alle emissioni di particolato (PM₁₀); questa percentuale sale al 28 per cento se si considera il solo settore dei trasporti su strada. Anche le emissioni di ossidi di azoto (NO_x), precursore della formazione di ozono e particolato, vedono un ruolo significativo delle emissioni da automobili stimato oltre il 20 per cento sul totale (47 per cento del settore dei trasporti su strada). Se si escludono le emissioni naturali dai vulcani, le emissioni di biossido di zolfo (SO₂), precursore del solfato, sono prodotte principalmente dalle centrali termoelettriche.

Evoluzione dello scenario emissivo del settore trasporti

Gli scenari emissivi relativi al settore trasporti vengono creati attraverso due passaggi successivi. In primo luogo è definito uno scenario senza introduzione del veicolo elettrico, ottenuto distribuendo su base provinciale le emissioni stimate a livello nazionale al 2030. A

FIGURA 18

Riduzione a livello provinciale delle emissioni di NO_x nel settore trasporto su strada dovute alla introduzione dei veicoli elettrici (al 2030).

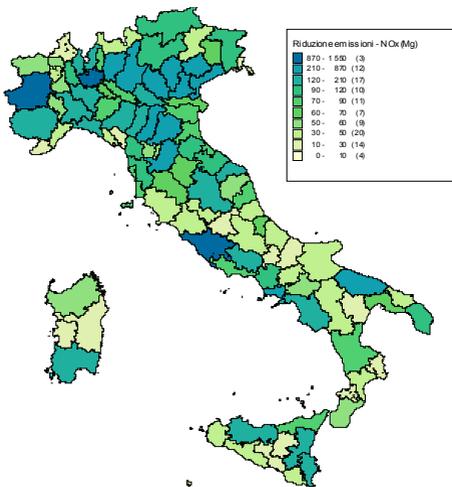
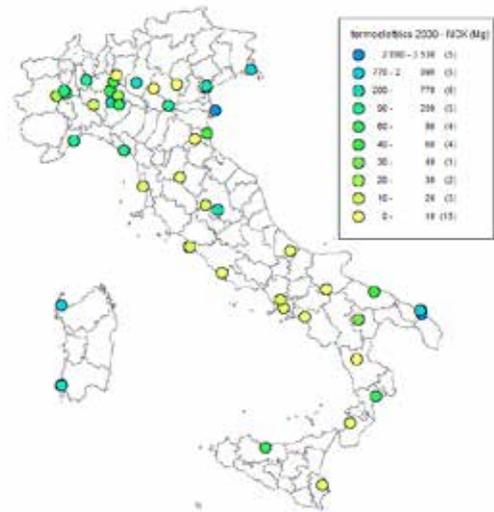


FIGURA 19

Emissioni di NO_x (Mg) del settore termoelettrico al 2030 – scenario senza veicoli elettrici.



partire da questo scenario è poi calcolato lo scenario con i veicoli elettrici, riducendo le emissioni provinciali in modo proporzionale alla diminuzione dei veicoli tradizionali (tale riduzione è associata prevalentemente alle emissioni in ambito urbano).

A titolo di esempio, in Figura 18 è illustrata la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto che evidenzia le maggiori diminuzioni nelle province di Milano, Roma e Torino, coerentemente con la maggiore diffusione stimata dei veicoli elettrici.

Evoluzione dello scenario emissivo del settore termoelettrico

Gli scenari emissivi futuri del settore termoelettrico sono stati definiti a valle delle elaborazioni con i modelli del settore elettrico MATISSE e MTSIM presentate nel Capitolo 3. In particolare, sono stati considerati due scenari al 2030:

- NOPHEV: scenario al 2030 senza diffusione delle auto elettriche;
- PROF1: gestione “intelligente” dell’infrastruttura di ricarica.

Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita

Per questo scopo sono stati utilizzati opportuni fattori di emissione che cercano di prevedere la possibile evoluzione del settore termoelettrico dal punto di vista emissivo riproducendo la tendenza di funzionamento degli impianti termoelettrici, come descritto nel Capitolo 3 mediante il modello MTSIM. Nella Figura 19 sono indicate le ubicazioni degli impianti e le relative emissioni di NO_x al 2030 ottenute nello scenario senza veicoli elettrici.

Bilancio complessivo delle emissioni al 2030

Il bilancio complessivo delle emissioni è illustrato nella Tabella 12 (a pagina 62), che riporta le emissioni annue delle due categorie emissive considerate nello studio: produzione di energia termoelettrica e automobili. In particolare, sono riportate le emissioni riferite ai seguenti casi:

- caso base (BASE_2005) con le emissioni dall'inventario provinciale ISPRA;
- lo scenario di riferimento al 2030 (REF) in cui il rinnovo del parco circolante non contempla veicoli elettrici ma solo la rottamazione dei veicoli più vecchi e l'introduzione di nuovi veicoli con minori emissioni ma sempre con motori a combustione interna. Nello scenario si ipotizza anche un rinnovo del parco di generazione termoelettrica con impianti caratterizzati da minori emissioni;
- lo scenario "veicoli elettrici" al 2030 (EV) in cui circa il 25 per cento del parco circolante è sostituito da veicoli elettrici, con minori emissioni dal settore trasporti e maggiori emissioni dal settore energia, dovute alla maggiore produzione richiesta per la ricarica delle batterie dei veicoli elettrici.

Dall'esame della Tabella 12 si nota che l'introduzione dei veicoli elettrici, rispetto allo scenario di riferimento, comporta un aumento delle emissioni di SO_2 (di circa il 12 per cento), una riduzione delle emissioni di ossidi di azoto (quasi del 14 per cento) mentre le emissioni di particolato rimangono sostanzialmente invariate. Queste variazioni si riducono a pochi punti percentuali se riferite all'insieme di tutte le sorgenti presenti sul territorio nazionale e non alle sole due categorie emissive considerate. A livello medio nazionale dunque, si prevede che l'introduzione dei veicoli elettrici non produca miglioramenti risolutivi della qualità dell'aria.

Analisi degli scenari futuri

La definizione degli scenari di mobilità e di evoluzione del settore termoelettrico e la successiva costruzione degli scenari emissivi permette di valutare l'impatto sulla qualità dell'aria a livello territo-

TABELLA 12

Bilancio complessivo delle emissioni.

		SO ₂ [Mg] tonnellate	NO _x [Mg] tonnellate	PM ₁₀ [Mg] tonnellate
Base_2005	Produzione energia termoelettrica	110.224	81.215	3.505
	Automobili	1.362	251.017	11.216
	Sub-totale (automobili+termoelettrico)	111.586	332.232	14.722
	Totale#	2.860.146	807.109	134.202
REF	Produzione en. Termoelettrica	23.192	21.686	1.948
	Automobili	1.052	58.634	848
	Sub-totale (automobili+termoelettrico)	24.244	80.320	2.796
	Totale#	2.772.805	555.197	122.277
EV	Produzione en. Termoelettrica	26.362	24.387	2.115
	Automobili	727	44.855	714
	Sub-totale (automobili+termoelettrico)	27.089	69.243	2.829
	Totale#	2.775.649	544.120	122.310
EV-REF	Produzione en. Termoelettrica	3.170	2.702	167
	Automobili	-325	-13.778	-134
	Sub-totale (automobili+termoelettrico)	2.845 [11,7%]	-11.077 [-13,8%]	33 [1,2%]

Totale comprende tutte le altre sorgenti presenti sul territorio nazionale che sono comuni in tutti gli scenari definiti: riscaldamento, processi industriali, evaporazione solventi, trasporto non su strada, agricoltura, rifiuti ed emissioni naturali); i dati di PM₁₀ per le auto sono riferiti alla sola frazione allo scarico, rimanendo invariata la produzione per usura degli pneumatici.

riale delle politiche di sviluppo della mobilità elettrica, discusse in precedenza.

Ciò è possibile grazie all'applicazione dei modelli matematici che permettono di ricostruire la distribuzione spaziale e l'evoluzione temporale della qualità dell'aria su aree estese, in riferimento a una situazione attuale oppure a un particolare scenario futuro.

A questo scopo, RSE ha sviluppato un sistema modellistico basato sui modelli WRF-SMOKE-CAMX [43] che viene applicato per la valutazione del livello di qualità dell'aria sul territorio nazionale e per la stima dei contributi dovuti ai principali settori emissivi, in particolare, la generazione termoelettrica e il trasporto su strada che sono i due principali settori coinvolti dalla diffusione dei veicoli elettrici. Per lo studio in oggetto, come premesso, i modelli matematici sono stati applicati per descrivere in modo esaustivo l'attuale stato della qualità dell'aria (caso base) e successivamente per valutare l'efficacia degli scenari.

Nel seguito, vengono presentati i risultati relativi solo a questo secondo passo. Per ulteriori dettagli sulla ricostruzione della situazione attuale si rimanda a [43]. L'analisi dell'efficacia degli scenari

Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita

si effettua valutando le variazioni ottenute nella situazione futura rispetto a quella attuale.

L'analisi dell'impatto degli scenari può essere effettuata in riferimento a diversi indicatori di qualità dell'aria. In particolare, la presente trattazione considera la concentrazione media annua di biossido d'azoto (NO₂) e la concentrazione media annua di PM_{2,5}, poiché per entrambi la normativa stabilisce degli standard di riferimento. Per ciascun inquinante vengono valutate due variazioni:

- 1) No EV – Caso Base: che quantifica l'effetto sulla qualità dell'aria dell'evoluzione del parco circolante e del settore termoelettrico al 2030;
- 2) EV – No EV: che quantifica l'ulteriore variazione della qualità dell'aria al 2030, a seguito dell'implementazione dello scenario di diffusione dei veicoli elettrici.

La valutazione dell'impatto degli scenari è relativa all'intero territorio italiano perché l'obiettivo specifico del presente studio è quello di determinare l'impatto complessivo dello scenario elettrico (trasporti + produzione di energia), quale termine di riferimento per un possibile approfondimento dello studio maggiormente focalizzato sulle singole aree urbane.

Il primo inquinante esaminato è il biossido d'azoto, la cui concentrazione è fortemente influenzata dal settore dei trasporti ma, seppure in forma più localizzata, anche dalle sorgenti di produzione di energia elettrica. L'evoluzione del parco circolante al 2030 introduce riduzioni significative della concentrazione media annuale su tutto il territorio italiano (comprese fra il 15 e il 30 per cento) e in particolare nelle aree urbane, dove la riduzione assoluta può raggiungere 6 parti per miliardo.

L'efficacia dello scenario si evince anche dall'analisi delle aree di eccedenza, che diminuiscono sia in estensione sia in distanza rispetto allo standard di legge, corrispondente all'area urbana di Milano. L'introduzione dello scenario elettrico determina un'ulteriore riduzione delle concentrazioni, seppure in misura minore rispetto al caso precedente (una parte per miliardo max, pari al 6 per cento della concentrazione media annua al 2030). Ciò è determinato principalmente dalla minore variazione delle emissioni introdotta in quest'ultimo caso. È inoltre interessante osservare che:

- coerentemente con le ipotesi che hanno guidato la definizione dello scenario, le variazioni più significative si registrano nelle aree urbane dell'Italia Centro-Settentrionale;
- l'incremento di emissioni dovuto alla maggiore produzione di ener-

gia non produce effetti significativi, almeno in termini di concentrazione di background; ovviamente è ragionevole supporre che si possano osservare effetti di scala locale in prossimità delle sorgenti.

La Figura 20 riporta anche i risultati della stima dell'impatto degli scenari sulla concentrazione media annua di $PM_{2,5}$. Analogamente a quanto osservato per il biossido d'azoto, entrambi gli scenari producono un miglioramento della qualità dell'aria, più marcato nel primo scenario che nella successiva introduzione del veicolo elettrico.

In particolare, l'evoluzione del parco circolante al 2030 comporta una riduzione della concentrazione media annua variabile fra il 5 e il 17 per cento, che nelle principali aree urbane corrisponde a circa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

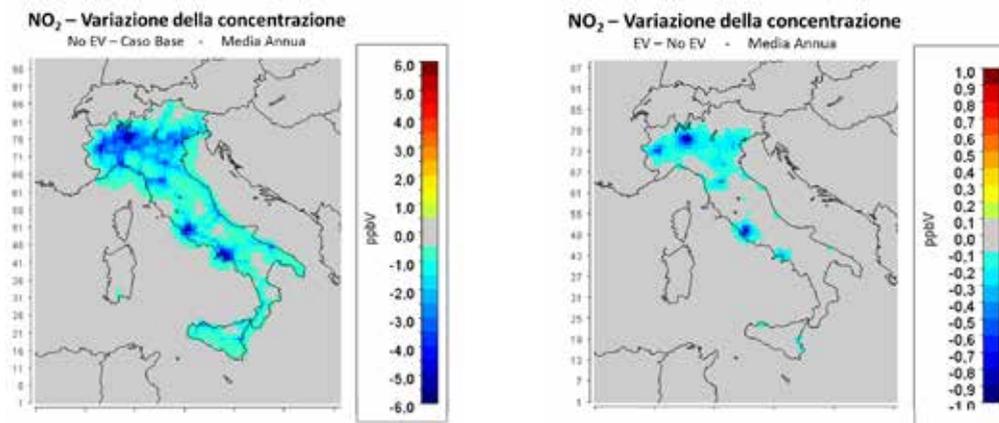
L'analisi modellistica rivela inoltre che l'effetto degli scenari è più marcato per NO_2 (fino al 30 per cento) che per $PM_{2,5}$ (fino al 17 per cento). Ciò è determinato dalla natura del particolato, un inquinante composto da diverse specie chimiche sia primarie sia secondarie e alla cui formazione concorre un numero di processi chimico-fisici più complessi rispetto al biossido d'azoto, che limita quindi l'efficacia delle singole azioni.

Il risultato ottenuto conferma, comunque, che le politiche di intervento sul settore della mobilità possono risultare particolarmente efficienti per la risoluzione dei problemi di qualità dell'aria che affliggono le città italiane. La successiva introduzione dello scenario di

FIGURA 20

Riduzione delle concentrazioni di NO_2 (a) e $PM_{2,5}$ (b) nello scenario base 2030 (a sinistra) e ulteriore riduzione dovuta all'implementazione dello scenario con veicoli elettrici (a destra).

a)



Effetti sull'ambiente e analisi del ciclo di vita

penetrazione del veicolo elettrico determina un ulteriore per quanto modesto miglioramento della qualità dell'aria. La riduzione massima si attesta a circa $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, corrispondenti a una percentuale variabile fra 0,5 e 1,5 per cento della concentrazione media annua. Il risultato ottenuto evidenzia che:

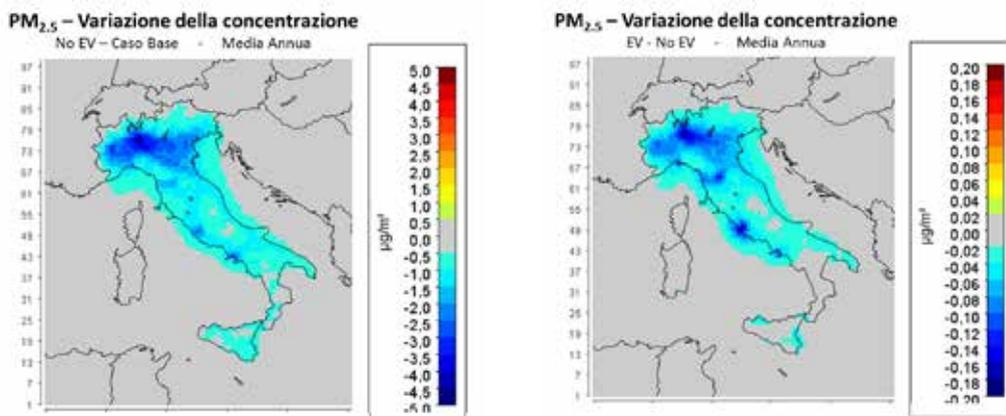
- ancora una volta le riduzioni presentano una distribuzione spaziale che discende dalla definizione dello scenario di diffusione dei veicoli su base provinciale, con variazioni più elevate al Centro-Nord;
- l'incremento di emissioni dovuto a una maggiore richiesta di energia non provoca ricadute evidenti a livello di concentrazione di background; questo risultato discende principalmente dalle caratteristiche dello scenario produttivo, che privilegia i cicli combinati e più in generale tecnologie a basse emissioni di particolato e zolfo.

Si osservi infine che la relativa riduzione di $\text{PM}_{2,5}$ dovuta all'implementazione dello scenario elettrico è chiaramente inferiore alla corrispondente riduzione di NO_2 discussa precedentemente.

Conclusioni

L'analisi dei risultati presentati evidenzia che negli scenari implementati gli unici inquinanti che vedono una significativa diminuzione al 2030 delle proprie emissioni complessive, a scala nazionale, sono gli ossidi di azoto (NO_x). Rispetto allo stato di qualità dell'aria, invece, gli scenari proposti producono effetti positivi sulla concentrazione sia di inquinanti primari, come il biossido d'azoto, sia secondari, come il particolato.

b)



L'analisi dell'impatto degli scenari evidenzia che l'evoluzione del parco circolante verso automobili a minore emissione comporterà una riduzione della concentrazione media annua di entrambi gli inquinanti, pur in presenza di un aumento del numero complessivo di veicoli in circolazione. In particolare, nelle maggiori aree urbane la diminuzione di NO_2 sarà di 6 parti per miliardo circa, mentre quella di $\text{PM}_{2,5}$ si attesterà attorno a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La successiva evoluzione dello scenario di mobilità, determinata dall'introduzione del veicolo elettrico, induce ulteriori miglioramenti della qualità dell'aria di entità piuttosto contenuta principalmente a causa della limitata variazione delle emissioni.

La concentrazione media annua di NO_2 si riduce del 6 per cento nelle aree urbane, mentre la diminuzione delle polveri fini si attesta a poco meno del 2 per cento. Il risultato ottenuto, comunque in linea con analoghe esperienze svolte in altri Paesi (ad esempio [44]), evidenzia alcuni aspetti interessanti:

- coerentemente con le ipotesi che hanno guidato la definizione dello scenario di diffusione dei veicoli su base provinciale, le variazioni più significative si registrano nelle aree urbane dell'Italia Centro-Settentrionale;
- l'incremento di emissioni dovuto alla maggiore produzione di energia non produce effetti significativi, almeno in termini di concentrazione di background; ovviamente è ragionevole supporre che si possano osservare effetti di scala locale in prossimità delle sorgenti.

Infine, l'analisi della correlazione fra livelli di concentrazione ed efficacia dell'implementazione degli scenari ha permesso di dimostrare in modo oggettivo che gli interventi sulla mobilità sono particolarmente efficaci, perché le riduzioni più elevate si osservano in corrispondenza delle concentrazioni più elevate.

4.3

GREEN ECONOMY E MATERIALI STRATEGICI

Le tecnologie della green economy⁴ (GE) si basano sull'uso di specifiche materie prime, convenzionalmente chiamate materiali strategici (MS), il cui controllo (estrazione, produzione, fornitura) costituisce la base per una futura leadership economica su scala mondiale. Tra i vari MS [45], quelli a più elevata "criticità", sulla base della sicurezza della loro fornitura e della loro importanza economica, sono le cosiddette terre rare (REs). Il recupero e riciclo delle REs contenute in significative quantità nei veicoli elettrici, si muove sul principio della GE.

Definizioni, caratteristiche ed estrazione delle terre rare

Le REs comprendono la serie dei 15 elementi noti come lantanidi aventi numero atomico da 57 (lantano, La) a 71 (lutezio, Lu), l'ittrio (Y) e lo scandio (Sc), con numeri atomici 39 e 21, rispettivamente.

Le REs si ritrovano comunemente insieme nei minerali della crosta terrestre, in particolare nella monazite, nella bastnasite e nella loparite. Questo comportamento rende conto delle note difficoltà di estrazione dai minerali che li contengono e di separazione individuale di questi elementi. In aggiunta a tali difficoltà di tipo tecnologico, va considerato il fatto che l'estrazione di tali minerali da molti dei giacimenti esistenti risulta non economicamente conveniente.

Mercato e applicazioni delle terre rare nel veicolo elettrico

Solo in pochi Paesi nel mondo si producono quantità significative di REs. La Cina possiede il 37 per cento delle riserve mondiali di REs (il sito di Bayan Obo è il grande giacimento del mondo del minerale bastnasite) ed è il Paese produttore dominante² con oltre il 95 per cento della produzione mondiale di REs (come ossidi: REOs), come illustrato nella Figura 21 (a pagina 68).

Attualmente, il monopolio cinese e le restrizioni alle esportazioni condizionano in modo significativo lo sviluppo delle tecnologie hi-tech e green. La domanda di REs è prevista in aumento fino al 2014 a un ritmo annuale dell'8-11 per cento [47]. La crescita più significativa è attesa per l'utilizzo delle terre rare nella fabbricazione di super magneti permanenti (Nd-Fe-B) e di leghe metalliche richiesti nei settori della mobilità (rispettivamente nei motori e negli anodi degli accumulatori al Ni-MH dei veicoli ibridi ed elettrici) e delle energie rinnovabili (nelle turbine eoliche).

I consumi di REs, in termini di volume e di valore, ammontano rispettivamente al 21 per cento e al 38 per cento per i super magneti permanenti, al 18 e al 13 per cento per le leghe metalliche, al 7 e al 32 per cento per le lampade a fluorescenza, al 19 e al 5 per cento per i catalizzatori [48].

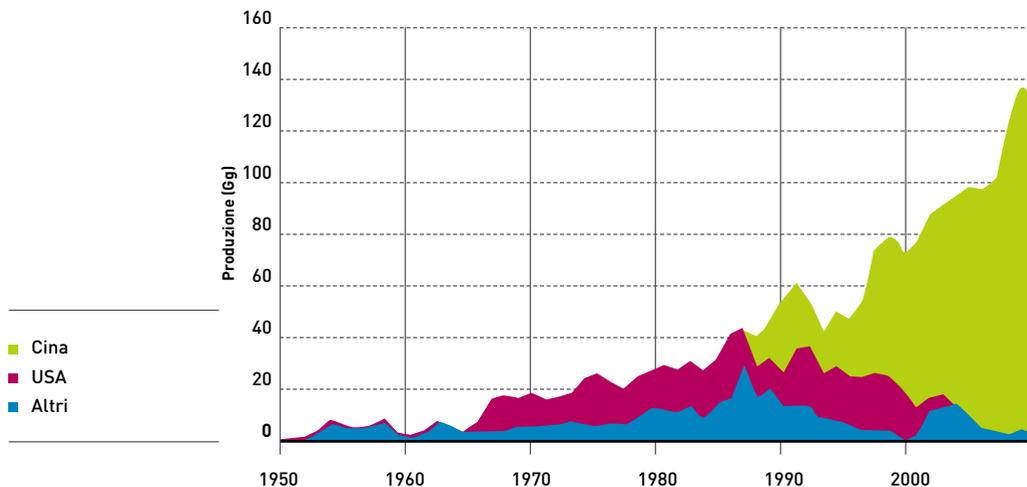
L'attuale generazione di veicoli ibridi ed elettrici utilizza significative quantità di REs in diverse parti e componenti, come illustrato nella Figu-

¹ *La green economy è il tipo di economia in cui la crescita del reddito e dell'occupazione è guidata da investimenti pubblici e privati in grado di ridurre le emissioni di carbonio e l'inquinamento, aumentare l'energia e l'efficienza delle risorse e prevenire la perdita della biodiversità e dei servizi ecosistemici.*

² *Dati riferiti al 2007.*

FIGURA 21

Produzione globale delle REs (come REOs) dal 1950 ad oggi [46].



ra 22. Si stima [50] che ciascun motore e ciascun accumulatore (Ni-MH) di una Toyota Prius richiedano, rispettivamente, quantità variabili da 0,9 a 1,8 kg di Nd e da 10 a 15 kg di La. Le altre REs utilizzate in questi dispositivi, ma in quantità decisamente più basse, sono: Dy, Tb, Pr, Sm, Ce ed Eu (disproso, terbio, praseodimio, samario, cerio, europio).

Recupero e riciclo delle terre rare

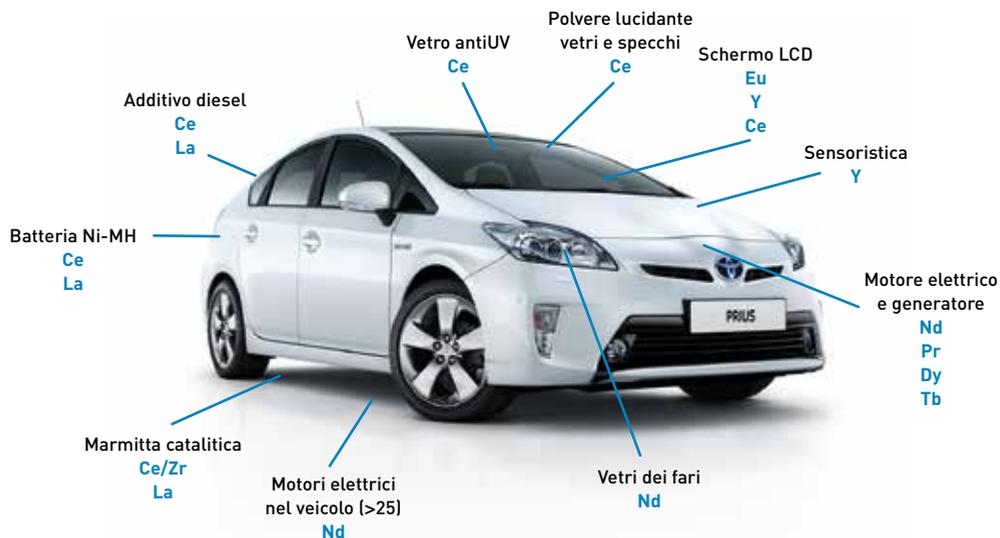
Per garantire nel tempo una fornitura di REs adeguata alla domanda, sono state prese in considerazione alcune strategie finalizzate a limitare il rischio di interruzione dell'approvvigionamento che potrebbe manifestarsi a seguito di cause principalmente di natura geopolitica. Tra queste strategie si sono considerate:

- l'apertura di nuove miniere o la riapertura di miniere dismesse;
- la sostituzione delle REs con altre materie prime;
- il recupero e riciclo di REs da prodotti dismessi o giunti a fine vita, attraverso processi efficienti e ecologicamente compatibili.

La terza opzione è quella che può sopperire alle possibili interruzioni delle forniture in tempi più rapidi. Anche se le metodologie di trattamento e di estrazione non risultano essere attualmente efficienti

FIGURA 22

Parti e componenti di un veicolo ibrido (Toyota Prius) in cui sono utilizzate le REs [50].



ed ecocompatibili, attivare una nuova miniera o una miniera dismessa richiede tempi di attuazione molto lunghi (10-15 anni) e costi energetici molto elevati; inoltre, difficilmente si possono trovare materiali in grado di sostituire le REs mantenendo le medesime prestazioni.

Accumulatori al Ni-MH e agli ioni Li

I processi di recupero e riciclo delle REs contenute negli accumulatori al Ni-MH e agli ioni Li sono attualmente in una fase embrionale e comunque non finalizzati per questa tipologia di elementi [51].

Gli studi sul recupero e riciclo dei MS sono più diffusi in Asia (Giappone): Toyota e Honda hanno realizzato impianti industriali che recuperano e riciclano il Co, il Ni e le REs dagli accumulatori delle loro auto ibride a fine vita. In Europa esistono pochi impianti dedicati a tale scopo; uno di questi appartiene alla società belga UMICORE.

Super magneti permanenti

Per quanto riguarda i super magneti permanenti, anche se sono stati proposti diversi processi per il recupero e il riciclo delle REs, nessuno è ancora stato sviluppato a livello commerciale, principalmente a causa delle peggiori caratteristiche prestazionali dei materiali recuperati e riciclati rispetto a quelle delle materie prime.

Le tecnologie utilizzate si basano sull'uso di sali fusi, processi idrometallurgici [52], estrazione con metalli liquidi (Ag e Mg) [53], estrazione con solventi [54], fusione e filatura, eccetera.

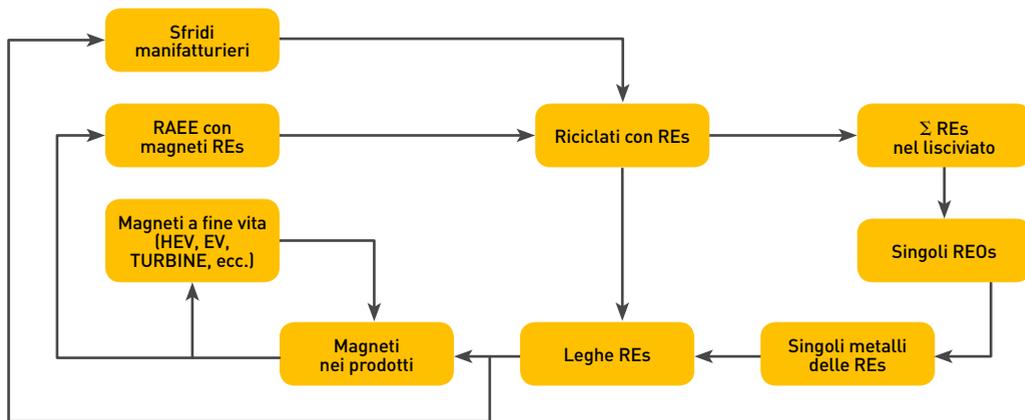
Le principali limitazioni di queste tecnologie risiedono nelle basse rese di recupero, nell'utilizzo di reagenti pericolosi, negli alti costi di gestione dei processi e nell'avere un significativo impatto ambientale. Un possibile schema di trattamento applicato a diverse tipologie di scarti (rottami di lavorazione; RAEE; motori di veicoli elettrici e ibridi; turbine eoliche) contenenti i super magneti permanenti è riportato in Figura 23.

I pochi impianti esistenti a livello mondiale sono localizzati principalmente in Giappone, dove alcune società (HITACHI e SANTOKU Co.) hanno messo a punto a livello industriale dei processi di trattamento, di recupero e di riciclo delle REs presenti nei super magneti permanenti. In Italia, per il recupero e riciclo delle REs presenti nei super magneti permanenti non esistono impianti a livello industriale, sebbene siano in corso studi di laboratorio finalizzati alla messa a punto di metodologie a tale proposito.

RSE ha in corso attività di laboratorio al fine di definire metodologie chimiche operanti in condizioni blande e utilizzando speciali reagenti non citotossici e a basso impatto ambientale (idrometallurgia a bassa temperatura) per estrarre e separare le REs presenti in super magneti permanenti e negli accumulatori al Ni-MH. L'obiettivo finale è valutare la trasferibilità tecnico-economica a livello industriale del processo messo a punto in laboratorio.

FIGURA 23

Schema per il recupero e riciclo di super magneti permanenti presenti in diverse tipologie di scarti.



Batterie, infrastrutture e tecnologie di ricarica

In questo capitolo sono descritte le caratteristiche degli accumulatori elettrochimici utilizzati per la propulsione di veicoli elettrici, le prestazioni attuali e le prospettive di sviluppo. In seguito si passano in rassegna le diverse tecnologie di ricarica per le auto elettriche. Per ciascuna tecnologia si evidenziano le peculiarità e in particolare il tempo necessario per una ricarica completa.

5.1

LE PRESTAZIONI DELLE BATTERIE PER VEICOLO ELETTRICO

Gli accumulatori elettrochimici utilizzati in passato per la propulsione dei veicoli elettrici non raggiungevano le prestazioni minime. Le batterie più utilizzate erano quelle al piombo che sono tuttora tecnologicamente ed economicamente le più mature, ma hanno un'energia specifica troppo bassa, vita attesa breve e prestazioni fortemente variabili in base alle condizioni di lavoro. Le batterie nichel/metal idruri hanno prestazioni migliori a fronte di un costo maggiore, ma comunque non ancora sufficienti.

Oggi sono disponibili a livello commerciale alcune tecnologie avanzate di accumulo che hanno le caratteristiche adatte a un utilizzo nella trazione elettrica, conservando anche ampi margini di miglioramento economico, e sono in grado di garantire buone prestazioni ai veicoli che alimentano. Le più promettenti sono le celle litio-ioni, con elettrolita liquido e con elettrolita polimerico, ma una valida alternativa è costituita dalla batteria sodio/cloruro di nichel [55].

I sistemi di accumulo per utilizzo veicolare devono avere elevati valori di energia e potenza specifiche opportunamente equilibrati tra loro; una elevata affidabilità e facilità di manutenzione; una vita attesa, sia in anni sia in cicli, comparabile con la durata di vita del veicolo; devono poter essere ricaricati in tempi brevi con elevati valori di corrente e devono essere in grado di lavorare in un ampio intervallo di temperature ambientali (da -40 a +60 °C) senza un eccessivo degrado delle prestazioni e della vita utile.

È fondamentale inoltre che le prospettive di prezzo (costo al kW e al kWh) siano buone, cioè si possa prevedere una considerevole riduzione del prezzo della tecnologia con l'aumento della produzione.

Le prestazioni degli accumulatori per uso veicolare si differenziano a seconda che siano utilizzati per la propulsione di veicoli puramente elettrici (EV) oppure ibridi (PHEV e HEV). La principale differenza è la capacità (e quindi le dimensioni) che è direttamente

Parametri prestazionali delle batterie per uso veicolare

Le prestazioni degli accumulatori elettrochimici possono essere quantificate per mezzo di una serie di parametri caratteristici, utili per confrontare sistemi di tecnologia differente. Questi parametri dipendono generalmente dalle condizioni di lavoro, cioè dal regime di scarica e dalla temperatura.

La **capacità**, espressa in Ah, è la quantità di carica elettrica che può essere estratta dal sistema durante la scarica a una data temperatura di riferimento. Questo parametro non è univoco ma dipende dal valore della corrente di scarica e dalla temperatura. La capacità nominale dunque è la capacità corrispondente a un particolare regime di scarica sufficientemente rappresentativo del regime di lavoro cui la batteria è destinata e a una temperatura di riferimento (tipicamente 25 °C).

L'**energia**, espressa in Wh, è l'energia che il sistema fornisce durante la scarica, partendo da una condizione di piena carica fino alla scarica completa, ed è data dal prodotto della capacità per la tensione dell'accumulatore. Anche questo parametro dipende dal regime di lavoro. L'autonomia di un veicolo elettrico è legata al contenuto energetico del sistema di accumulo che lo alimenta. Il dimensionamento del sistema di accumulo è definito in funzione dell'autonomia e della potenza massima richiesta, che a sua volta dipende da una serie di fattori specifici del veicolo (peso, profilo aerodinamico, velocità media, eccetera). Supponendo ad esempio di voler alimentare un veicolo da 1.000 kg con un consumo medio di 100 Wh/ton*km per almeno 150 km, la taglia del sistema di accumulo dovrà essere almeno di 15 kWh.

L'**energia specifica** e la **densità di energia** si ottengono rapportando l'energia immagazzinabile nell'accumulatore rispettivamente al peso e al volume occupato dallo stesso e sono espresse in Wh/kg e in Wh/l. Un discorso analogo si può fare per la **potenza specifica** e la **densità di potenza**, espresse in W/kg e in W/l. L'utilizzo delle grandezze specifiche è molto comune perché permette di confrontare tra loro sistemi di tipo diverso. Un'elevata energia specifica permette di aumentare, a parità di peso, l'energia immagazzinabile in un sistema e di avere una maggiore autonomia (oppure di avere, a parità di energia, un peso minore, riducendo il consumo del veicolo che è legato al peso dello stesso). La densità di energia è invece legata al

legata all'autonomia che il veicolo deve percorrere in elettrico. Un veicolo ibrido ha autonomia in elettrico molto limitata, che può andare da pochi km fino a circa 60 km, mentre un EV richiede autonomia superiore ai 100 km.

Inoltre una batteria utilizzata in un veicolo ibrido segue prevalentemente un profilo di lavoro in cui non viene generalmente scaricata o caricata a fondo, ma è sottoposta a rapide variazioni di carico e pic-

volume occupato dalla batteria e condiziona la flessibilità di progetto del veicolo per quanto riguarda gli spazi disponibili.

Un'elevata potenza specifica continuativa in scarica garantisce prestazioni di guida ad alta velocità. Un parametro significativo per le batterie per veicolo elettrico è la **potenza di picco specifica**, che identifica la capacità di accelerazione del veicolo elettrico. È definita come la potenza per unità di peso che il sistema di accumulo è in grado di sostenere per 30 secondi con un valore del DOD (Depth Of Discharge) dell'80 per cento (cioè con batteria quasi scarica).

Un parametro fondamentale è il **tempo di vita**. Il tempo di vita in cicli rappresenta il massimo numero di cicli di scarica (fino all'80 per cento del DOD) e carica completa che una batteria è in grado di completare prima che le sue prestazioni scendano sotto un limite minimo (ad esempio, prima che la sua capacità si riduca di una determinata percentuale, tipicamente del 20 per cento).

Il numero di cicli di vita in combinazione con l'energia specifica determina la percorrenza globale del veicolo. Riprendendo l'esempio di prima, se un veicolo alimentato da un sistema da 15 kWh percorre 150 km con un ciclo completo di scarica e la batteria ha una vita attesa di 1.000 cicli, la percorrenza globale del veicolo sarà pari a 150.000 km (compatibile con la percorrenza di una tradizionale utilitaria). Dal momento che il costo della batteria incide molto sul costo complessivo del veicolo è molto importante che la durata di vita della batteria sia comparabile con quella del veicolo, per evitare il costo della sostituzione.

L'**efficienza energetica**, o rendimento di carica/scarica, è definita come il rapporto tra l'energia scaricata e quella spesa per riportare il sistema di accumulo nello stato di carica iniziale. Un altro parametro è il rendimento amperometrico, definito come il rapporto tra la quantità di carica, misurata in Ah, erogata durante la scarica e la quantità necessaria per ripristinare lo stato di carica iniziale. È molto importante che questo parametro sia unitario (non è così per tutte le tipologie di accumulatori) perché semplifica in modo importante la gestione dell'accumulatore perché permette di misurare lo stato di carica semplicemente tramite un'integrazione della corrente di carica/scarica.

chi di potenza sia in scarica che carica. Una batteria di un EV lavora con variazioni del SOC (State Of Charge) molto più ampie (tra il 100 e il 20 per cento) e la potenza di lavoro massima in rapporto all'energia nominale è più bassa. In sintesi, le batterie per HEV e PHEV devono avere prestazioni in potenza, mentre le batterie per EV devono avere prestazioni in energia (anche se comunque devono essere in grado di erogare picchi di potenza).

La Tabella 13 riporta gli obiettivi economici e prestazionali minimi che le batterie per EV devono raggiungere per realizzare veicoli elettrici competitivi rispetto a quelli tradizionali, stabiliti dal consorzio americano United States Advanced Battery Consortium (USABC). Costituito nel 1991 dalle principali Case automobilistiche statunitensi, questo consorzio include il DOE, l'EPRI, diverse Compagnie di produzione di energia elettrica e diversi costruttori di batterie. USABC investe in modo consistente per lo sviluppo dei veicoli a propulsione elettrica e ibrida e per lo sviluppo di adeguati sistemi di accumulo [56].

La Tabella 14, messa a punto sempre dall'USABC nel 2009, riporta gli obiettivi prestazionali minimi richiesti alle batterie per veicoli ibridi. In questo caso le prestazioni minime richieste alle batterie sono diverse a seconda dell'autonomia che si vuole garantire al veicolo in modalità puramente elettrica.

Nella tabella si distinguono le prestazioni minime richieste al sistema di accumulo a seconda che venga gestito con una strategia Charge-Depleting (CD) o Charge-Sustaining (CS). Le due strategie sono entrambe utilizzate per la gestione delle batterie di un PHEV o di un HEV durante fasi diverse della marcia del veicolo e a seconda della condizione attuale della batteria.

Un veicolo ibrido lavora in modalità CD quando l'unico mezzo di propulsione è il motore elettrico. In questo caso, le condizioni ope-

TABELLA 13

Principali criteri USABC di prestazione e costo delle batterie per veicolo elettrico.

Parametro	Obiettivi minimi
Densità di potenza [W/l]	600
Picco di potenza specifica in scarica all'80% DOD, per 30 s [W/kg]	400
Densità di energia (tasso di scarica C/3) [Wh/l]	300
Energia specifica (tasso di scarica C/3) [Wh/kg]	200
Rapporto tra potenza specifica ed energia specifica	2:1
Dimensione del pacco batteria [kWh]	40
Cicli di vita [num.]	1.000
Tempo di vita [anni]	10
Costo specifico (con una produzione di 25.000 unità l'anno da 40 kWh) [\$/kWh]	100
Temperatura di lavoro [°C]	da -40 a +85
Tempo di ricarica normale [ore]	da 3 a 6 ore
Tempo di ricarica rapido	15 minuti fino all'80% del SOC (State Of Charge)

Batterie, infrastrutture e tecnologie di ricarica

rative della batteria sono analoghe a quelle di un veicolo puramente elettrico. Generalmente un PHEV lavora secondo questa modalità di lavoro in fase di avviamento o su richiesta del conducente fino a un valore minimo del SOC della batteria. Nella modalità CS la propulsione elettrica è in supporto al motore termico, le strategie di lavoro possono essere diverse a seconda della tipologia di veicolo. Ad esempio, può erogare picchi di potenza in parallelo al motore termico, che può essere quindi dimensionato su una potenza minore, e recupera l'energia di frenatura. La strategia di gestione CS è finalizzata al mantenimento del livello di carica ottimale della batteria. In questa modalità la batteria eroga/assorbe picchi di potenza anche intensi ma per tempi molto brevi e tende a rimanere nell'intorno di un valore prefissato del SOC.

Diverse batterie al litio sono in grado di competere per le applicazioni veicolari come le litio-ferro fosfato, le litio-ioni polimeri, le litio-ioni con anodo in titanato di litio (vedi monografia RSEview *L'accumulo di energia elettrica* [57]). Ciascuna soddisfa alcuni dei requisiti minimi richiesti, ma attualmente nessuna di loro presenta contemporaneamente un basso costo, un'alta densità di energia e un'elevata vita operativa.

Tutte presentano tempi di ricarica molto buoni e inferiori a un'ora (10 minuti nel caso delle batterie con anodo al titanato) per ricariche

TABELLA 14

Principali criteri USABC di prestazione e costo delle batterie per veicolo ibrido plug-in.

	Batteria per PHEV di taglia minima	Batteria per PHEV di taglia media	Batteria per PHEV di taglia massima
Autonomia minima in elettrico [km]	16	32	64
Picco di potenza specifica in scarica per 2/10 s [W/kg]	50/45	45/37	46/38
Energia disponibile in modalità Charge-Depleting [kWh]	3,4	5,8	11,6
Energia disponibile in modalità Charge-Sustaining [kWh]	0,5	0,3	0,3
Massimo peso del sistema completo [kg]	60	70	120
Massimo volume del sistema completo [l]	40	46	80
Vita attesa (in modalità CD) [cicli]	5.000	5.000	5.000
Vita attesa (in modalità CS) [cicli]	300.000	300.000	300.000
Costo di un sistema [con una produzione di 100 k unità/anno [\$]]	1.700	2.200	3.400

fino all'80 per cento della capacità massima, alta potenza specifica oltre a efficienze energetiche tipicamente superiori al 90 per cento.

Le prospettive sono molto incoraggianti [58] e si prevede per la fine di questo decennio di produrre celle con prestazioni più elevate: energie specifiche e potenze specifiche maggiori di 300 Wh/kg e 5.000 W/kg, vite superiori a 5.000 cicli e una forte riduzione dei costi (150-200 euro/kWh).

La ricerca nel settore delle batterie litio-ioni è molto attiva, spinta proprio dalla prospettiva di utilizzo per i veicoli elettrici, e si propone, oltre a migliorarne le prestazioni, anche di aumentare la sicurezza intrinseca delle celle. Il punto di forza della tecnologia sodio/cloruro di nichel è la maggiore sicurezza intrinseca. Inoltre è caratterizzata anche da un buon rendimento energetico e una elevata energia specifica, sottolineando tuttavia che la potenza specifica massima della batteria è troppo bassa (180 W/kg all'80 per cento DOD). Per superare questo limite, che la renderebbe non competitiva nei confronti della tecnologia del litio nelle applicazioni veicolari, sono in fase di sviluppo sistemi ibridi con supercondensatori, di cui sono già in fase di test alcuni prototipi.

5.2

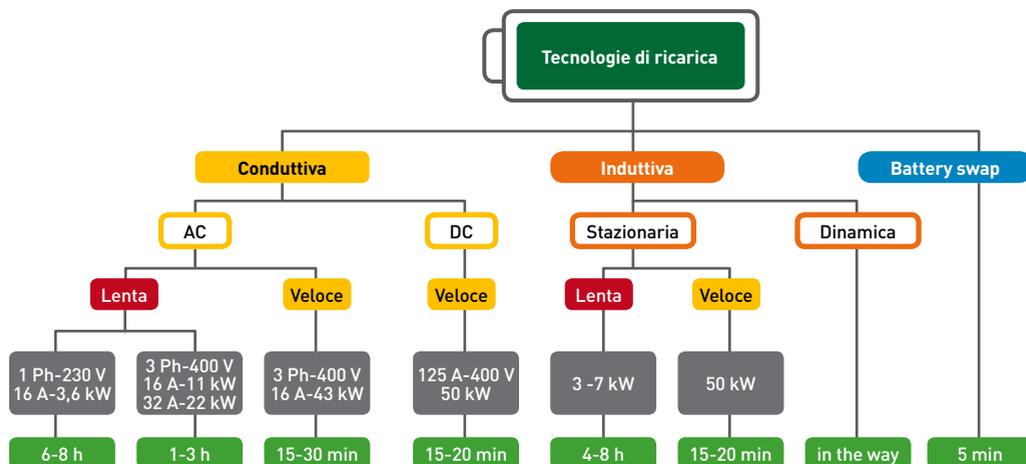
TECNOLOGIE DI RICARICA PER VEICOLI ELETTRICI

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 caricabatterie a bordo veicolo. Un metodo alternativo per la ricarica del veicolo consiste nell'utilizzare un caricabatterie 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) e veloce (in AC o in 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,

FIGURA 24

Schematizzazione grafica delle tecnologie di ricarica.



un'applicazione forse un po' più futuribile 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 24 sono rappresentate in maniera schematica le tecnologie di ricarica attualmente utilizzate, in relazione al tempo impiegato per la ricarica.

5.3

RICARICA CONDUTTIVA IN AC

Lenta e accelerata

Per ricarica lenta si intende una ricarica in corrente elettrica alternata monofase o trifase a 16 A, il cui collegamento alla rete avviene attraverso un connettore standard per uso domestico e/o industriale, come previsto nel Modo 1 e Modo 2 di ricarica (vedi paragrafo 5.7).

Tuttavia, alcune approfondite indagini hanno dimostrato che i connettori domestici potrebbero non essere idonei (per possibile surriscaldamento) a sostenere un'erogazione prolungata per diverse ore di una corrente pari a 16 A. Per evitare l'insorgere di problemi di questo tipo alcune utility, in collaborazione con costruttori di veicoli, stanno studiando soluzioni che consentano di limitare la massima

corrente assorbibile, in ambiente domestico, a 10 A. L'uso della ricarica lenta di un veicolo elettrico richiede dalle 6 alle 8 ore, in base alla capacità di batteria dell'auto, nel caso in cui la ricarica avvenga alla potenza di 3 kW, e di 1-3 ore nel caso di ricarica trifase a 7 kW.

Nella panoramica sui connettori, nel seguito riportata, vedremo come tale tipologia di ricarica sia consentita attraverso connettori domestici, Schuko e di tipo industriale per il Modo 1 e Modo 2, mentre per il Modo 3 sono necessari connettori specifici che oltre a contatti per potenza, terra e neutro, siano dotati di contatti addizionali per la comunicazione e il controllo. In generale, si definisce ricarica lenta tutto ciò che non è veloce, pertanto quando la ricarica viene eseguita alla potenza di 22 kW (32 A trifase a 400 V) si parla ancora di ricarica lenta, anche se sarebbe preferibile definirla accelerata.

In questo caso il tempo necessario a una ricarica della batteria può ridursi a un'ora o poco più nel caso di una capacità di batteria attorno ai 20-24 kWh. Con tale potenza di ricarica, anche se i connettori industriali consentono di sopportare queste correnti, è auspicabile che anche in luogo non aperto al pubblico la ricarica avvenga utilizzando il Modo 3 e impiegando i relativi connettori (illustrati nella Figura 29 a pagina 86).

La procedura di ricarica di un'auto elettrica attraverso un punto di consegna pubblico è alquanto semplice: il conducente parcheggia l'auto in una piazzola predisposta e autentica il veicolo elettrico attraverso un RFID (Radio Frequency IDentification). A seconda dei casi, il conducente può scegliere il tipo di ricarica dalla colonnina o da bordo auto. La negoziazione tra la rete elettrica e il sistema di ricarica delle auto in genere avviene su tre livelli: la rete elettrica con la sua logica di gestione dell'energia, il sistema di misura e l'invio dei dati di fatturazione ai fornitori di energia.

In alcuni casi la negoziazione può prevedere anche un livello addizionale. Infatti, oltre a un'architettura con colonnine di ricarica "singole" è stata pensata anche una soluzione con un sistema master e diversi "satelliti". In questo caso la colonnina master suddivide la potenza totale resa disponibile dalla rete nel punto di consegna su uno o più satelliti a cui può accedere una sola auto elettrica per volta. Operativamente, stabilita la potenza massima che ciascun satellite può rendere disponibile all'auto che è ad esso allacciata, il satellite provvede a ricaricare l'auto compatibilmente con gli accumulatori su di essa installati.

Il metering dell'energia avviene per ciascun punto di ricarica e misura l'energia in transito verso l'auto, comprese le perdite che possono avvenire a bordo auto e nell'accumulo. L'energia misurata in

Batterie, infrastrutture e tecnologie di ricarica

ciascuna ricarica viene associata al contratto di fornitura dell'auto, mutuando le soluzioni consolidate per i prelievi di denaro dagli sportelli bancomat e per la tariffazione della telefonia mobile. In prospettiva, un'auto elettrica si potrà muovere in tutta Europa ricaricandosi dalle colonnine collocate dai diversi operatori, nei diversi Paesi, pur continuando a pagare l'energia utilizzata al fornitore con cui ha stipulato il contratto, proprio come accade per il roaming nazionale e internazionale. Nel caso in cui il contratto di fornitura per la ricarica delle auto sia stato stipulato con un fornitore di energia con il quale si ha già un altro contratto (ad esempio: fornitura di energia domestica), sarà anche possibile una rendicontazione unica.

Si prevedono modelli di business anche più articolati; ad esempio, è ragionevole pensare a un fornitore di energia che si accoli in tutto o in parte il costo iniziale di investimento per l'acquisto dell'auto elettrica, che utilizzi l'accumulatore dell'auto elettrica per fornire servizi alle reti di distribuzione e che faccia pagare all'utente finale solo l'energia effettivamente utilizzata per la mobilità.

Veloce (o rapida)

Uno dei punti deboli delle varie tecnologie di ricarica già in uso, che costituiscono un fattore fortemente limitante nella diffusione dei veicoli elettrici, è il tempo di ricarica, inteso come tempo medio per un "pieno" di energia che permetta di ricaricare la batteria e consentire di percorrere altri 100 km e oltre. Questo tempo, che è dell'ordine dei minuti per quanto riguarda le vetture a combustione interna, per i veicoli elettrici può variare da 6-8 ore nel caso di ricarica lenta a un'ora nel caso di ricarica accelerata.

Tuttavia la sosta di un'ora può apparire eccessiva quando si intende percorrere lunghe distanze, anche se missioni di questo tipo, nella gran parte dei casi, avvengono solo qualche volta l'anno. Una tecnologia di ricarica che si sta affermando, sia per placare l'ansia da ricarica sia per consentire una ricarica completa nel periodo di una breve sosta, è quella rapida (o veloce) dove le potenze attualmente disponibili variano tra i 43 kW (63 A trifase a 400 V) di una ricarica in AC ai 50-60 kW (120 A a 400 V in corrente continua) di una ricarica in DC.

Entrambe queste tipologie di ricarica potrebbero trovare sistemazione nelle attuali stazioni di servizio, che in questo modo diventerebbero stazioni ibride; vale a dire con pompe di carburante per combustibili fossili e punti di ricarica veloce per i veicoli elettrici.

Questo tipo di stazioni di ricarica potrebbe avere un impatto pesante sulla rete. Tuttavia, recenti studi hanno dimostrato che questo non avviene quando le stazioni di ricarica sono direttamente con-

nesse alle linee di Media Tensione o quando, anche se connesse in BT, sono equipaggiate con un polmone di accumulo di 200-400 kWh.

Per ricarica veloce in corrente alternata si intende una ricarica trifase a 63 A e 400 V. La ricarica veloce in AC con una potenza di 43 kW di un veicolo elettrico consente di effettuare una ricarica all'80 per cento della capacità della batteria in soli 30 minuti. Si può facilmente ipotizzare che alcune delle attuali stazioni di rifornimento di carburante possano essere quindi riconvertite in stazioni ibride. Un tale tempo di ricarica è comparabile con le attuali soste presso le stazioni di servizio quando, oltre al rifornimento di carburante, ci si concede una breve pausa per consumare un veloce pasto.

Queste stazioni di ricarica saranno principalmente installate lungo autostrade o superstrade, presso luoghi di sosta e anche stazioni di servizio, per offrire una ricarica in 15-30 minuti. Ciò consentirà di moltiplicare per 2, 3 e oltre, l'attuale autonomia dei veicoli elettrici ampliando notevolmente il loro raggio di percorrenza, superando così il ruolo che attualmente viene assegnato al veicolo elettrico come auto da città o "seconda vettura".

Ad oggi, in mancanza di risultati provenienti da sperimentazioni pilota, l'unica osservazione che si può fare è che la tecnologia di ricarica veloce a 43 kW in corrente alternata è utilizzabile da pochissime auto in commercio.

5.4

RICARICA CONDUTTIVA IN DC VELOCE (O RAPIDA)

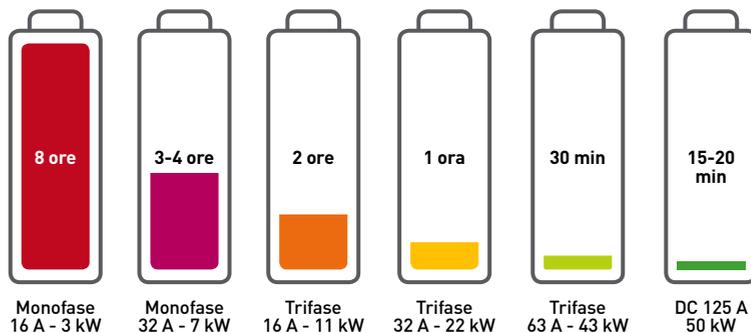
Per ricarica veloce in DC si intende una stazione di ricarica in corrente continua con potenza nominale maggiore o uguale a 50 kW. Con queste potenze un veicolo elettrico può essere ricaricato in 15-30 minuti. In generale, quando si parla di ricarica in DC si è subito portati a pensare alla soluzione proposta dall'associazione CHAdeMO.

A fine maggio 2013 le stazioni di ricarica CHAdeMO installate in tutto il mondo erano 2.569, così ripartite: Giappone 1.677, Europa 601, Usa 160, altri Paesi 12. Così come già descritto per i punti di ricarica veloce in AC, anche le infrastrutture di ricarica in DC potrebbero trovare la loro principale collocazione lungo le autostrade e soprattutto essere installate nelle attuali stazioni di servizio, contribuendo in questa maniera a trasformare le stazioni di servizio in "pompe".

Come abbiamo già potuto vedere nelle precedenti descrizioni, la tecnologia che appare come fondamentale per consentire sia di alleviare la cosiddetta "ansia da autonomia" in percorsi urbani, sia di affrontare con i veicoli elettrici anche percorsi di tipo misto urbano/

FIGURA 25

Confronto tra potenze impiegate e relativi tempi di ricarica.



extraurbano con percorrenze di qualche centinaio di chilometri, è la ricarica rapida (o extrarapida, a seconda della potenza di alimentazione). Parte dell'energia ricaricata durante il giorno dovrà essere fornita in maniera veloce, da infrastrutture paragonabili agli odierni distributori di carburanti. La ricarica lenta è evidentemente impossibile da implementare in queste strutture; sarà quindi necessario dotare queste stazioni di ricarica di dispositivi in corrente continua in grado di erogare potenze fino a 50 kW (attuali) o 100 kW (previsioni).

La Figura 25 mostra i tempi di ricarica necessari, a seconda della potenza impiegata, per una ricarica completa di una batteria con capacità di 25 kWh.

Nei paragrafi precedenti, descrivendo la situazione dei sistemi di connessione per la ricarica conduttiva, sia in AC sia in DC, abbiamo potuto notare quanto sia complicata e ancora lontana una soluzione che conduca all'interoperabilità fisica del veicolo elettrico, vale a dire un unico sistema di connessione valido almeno per tutto il territorio europeo. Una tipologia di ricarica che sembra configurarsi come possibile superamento degli ostacoli causati dalla mancanza di un unico connettore risiede nella *ricarica induttiva*.

5.5

RICARICA INDUTTIVA

Di seguito si richiamano brevemente i principi di funzionamento; per una descrizione più dettagliata si rimanda al documento [59]. 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

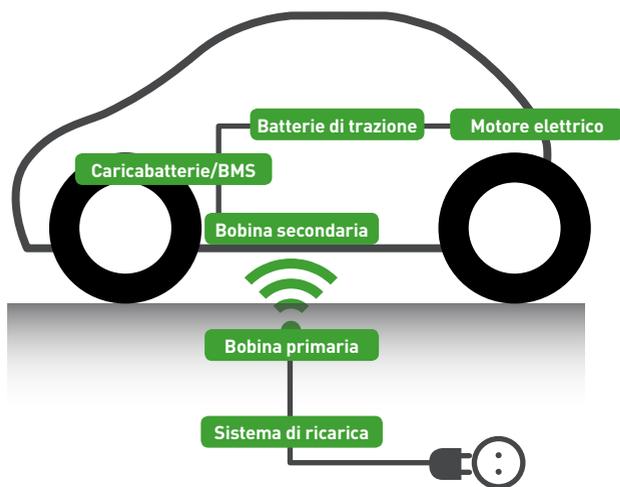
manto stradale e l'altra che si trova oltre il pianale dell'auto, come mostrato nella Figura 26. In primo luogo, l'alimentazione a 50 Hz viene raddrizzata e convertita in tensione e corrente con frequenze attorno ai 100-150 kHz. Successivamente questa energia in alta frequenza viene trasferita per accoppiamento magnetico al veicolo elettrico e trasformata in DC dal caricabatterie a bordo veicolo.

Poiché c'è una piccola distanza (max. 30 cm) tra le due bobine che si trasferiscono energia, si parla anche di trasferimento di energia wireless. Tra i vantaggi possiamo ricordare:

- 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;
- il sistema di ricarica è altamente tollerante sul disallineamento;
- il sistema è dotato di protezione passiva dell'apparato di ricarica (il trasmettitore è annegato nell'asfalto, evitando quindi vandalismi);
- è assente il rischio di shock elettrici (al contrario dei sistemi conduttivi di ricarica);
- è adatto all'utilizzo in tutte le condizioni atmosferiche.

FIGURA 26

Componenti principali di un sistema di ricarica wireless in un veicolo elettrico.



Come svantaggio possiamo indicare 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.

5.6

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, come mostrato nella Figura 27, 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. È notizia recente (mese di maggio 2013) che BetterPlace, azienda ideatrice di questa soluzione di ricarica, ha dichiarato fallimento.

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.

FIGURA 27

Stazione di sostituzione batterie di BetterPlace.



PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL PROCESSO DI RICARICA: MODI, PRESE E SPINE

La norma generale di riferimento per la ricarica (conduttiva) dei veicoli elettrici è la IEC 61851-1 ed. 2. Tale norma contiene i requisiti generali e definisce, per il veicolo elettrico, quattro modi di ricarica sinteticamente presentati nella Figura 28.

Il Modo 3, con presa dedicata, in cui le funzioni di controllo e protezione sono installate in maniera permanente nell'infrastruttura, è quello che riceve il massimo consenso a livello internazionale, in particolare per le nuove installazioni pubbliche (in Italia il Modo 3 è obbligatorio nelle infrastrutture pubbliche dal 2001). Alcuni Paesi desiderano mantenere il Modo 1 per l'accettabilità a breve termine da parte dei clienti e per assicurare la fase di transizione al Modo 3.

Nel Modo 4 la ricarica avviene in corrente continua a partire dalla corrente alternata convertita in continua attraverso un caricabatterie esterno. Questa modalità di ricarica è molto interessante, in quanto non necessita di raddrizzatore a bordo auto, con vantaggi in termini di leggerezza e semplicità del veicolo. Nella Figura 29 (a pagina 86) è presentata una panoramica delle tipologie di prese e spine attualmente utilizzate nella ricarica dei veicoli elettrici. È importante rilevare che i sistemi di connessione specifici per il veicolo elettrico, in grado di sopportare correnti elevate, sono quelli riportati nei Modi 3 e 4 di ricarica.

Analizzando più in dettaglio i connettori idonei al Modo 3 di ricarica dei veicoli elettrici e trattati nella norma IEC 62196-2, possiamo notare che sono previsti tre tipi di connettori: Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 (in tipo 3a e 3c). Il Tipo 1 è in uso sul mercato americano e giapponese, il Tipo 2 e il Tipo 3 sono attualmente in uso nei Paesi europei. Entrambe le tipologie hanno 7 pin (3 fasi, neutro, terra e 2 contatti pilota).

La differenza principale tra il connettore Tipo 2 e Tipo 3c risiede nel grado di protezione: mentre il Tipo 2 ha un grado di protezione IPXXB (verifica del contatto al dito di prova), il Tipo 3c ha dispositivi di protezione IPXXD (a prova di ingresso di un filo di diametro 1 mm) contro il contatto accidentale di parti in tensione sia sulla presa sia sulla spina.

Per garantire la sicurezza durante la ricarica, la colonnina comunica al veicolo la disponibilità di rete attraverso un segnale modulato in frequenza, e il veicolo adatta il carico restituendo il proprio stato attraverso un valore in tensione. Queste funzionalità sono garantite dal circuito PWM (Pulse Width Modulation) obbligatorio per il Modo 3 di ricarica. Nel caso di veicoli sprovvisti di PWM, il circuito funziona in "modo semplificato" misurando il solo valore della resistenza di terra e la colonnina limita la corrente a 16 A.

FIGURA 28

Modi di ricarica.

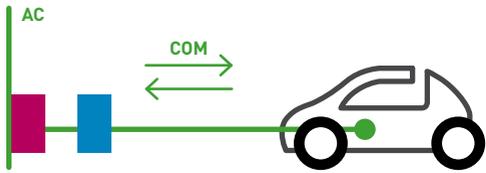
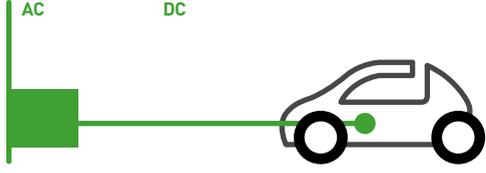
MODI DI RICARICA	DESCRIZIONE
<p>Modo 1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ in corrente alternata (AC) ▶ utilizza una presa standard di tipo domestico ▶ non supera i 16 A e i 250 V monofase o 480 V trifase ▶ ricarica lenta (6-8 h) ▶ è richiesta la presenza di un interruttore RCD ▶ e un sistema di protezione per sovracorrente
<p>Modo 2</p>  <p>[Protection device built into the cable]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ in corrente alternata (AC) ▶ utilizza una presa standard di tipo domestico/industriale con corrente massima ▶ non supera i 32 A e i 250 V monofase o 480 V trifase ▶ ricarica lenta (6-8 h) ▶ sul cavo è presente uno specifico dispositivo di protezione, denominato control box, che garantisce la sicurezza delle operazioni durante la ricarica
<p>Modo 3</p>  <p>[Protection device in the installation, specific charging station]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ in corrente alternata (AC) ▶ utilizza un sistema presa-spina dedicato e prevede funzioni di protezione e controllo permanentemente presenti nell'infrastruttura ▶ ricarica lenta (6-8 h) o accelerata (30 min - 1h) ▶ in Italia il Modo 3 è obbligatorio nelle infrastrutture aperte a terzi
<p>Modo 4</p>  <p>[AC/DC external to the vehicle]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ in corrente continua (DC) ▶ ricarica veloce (15-30 min) ▶ utilizza un caricabatteria esterno

FIGURA 29

Modi di ricarica e sistemi di connessione.

MODI DI RICARICA	TIPO DI PRESA-SPINA	DESCRIZIONE
Modo 1	Schuko/Industriale (IEC60309)	Presa-connettore di tipo domestico o industriale fino a 16 A non specifica per EV. L'installazione deve essere protetta con sistema RCD e protezione di sovracorrente. In Italia il Modo 1 di ricarica non è consentito nelle infrastrutture pubbliche.
Modo 2	Schuko/Industriale (IEC60309)	Presa-connettore di tipo domestico o industriale fino a 32 A non specifica per EV. Si utilizza un cavo dotato di dispositivo di controllo sul cavo.
Modo 3	Tipo 1	Diffusa in America e in Giappone. Questo tipo di presa-spina in Europa è utilizzata lato veicolo ma non lato infrastruttura.
	Tipo 2	Tipologia di presa-spina conforme a regolamenti nazionali di alcune nazioni europee sia lato veicolo sia lato infrastruttura.
	Tipo 3a	Tipologia di presa-spina idonea all'utilizzo in infrastrutture di ricarica pubbliche. Utilizzata prevalentemente per la ricarica dei veicoli leggeri e scooter.
	Tipo 3c	Tipologia di presa-spina idonea al regolamento italiano e francese per l'utilizzo in infrastrutture di ricarica pubbliche.
Modo 4	Combo 2	Sistema presa-connettore proposto dall'Associazione Europea dell'industria automobilistica (ACEA). Grazie alla particolare tipologia, il sistema consente sia la ricarica AC sia la ricarica DC.
	CHAdEMO	È il nome commerciale di un sistema di ricarica in DC. Sistema presa-spina solo lato veicolo. Sul lato infrastruttura cavo direttamente connesso a colonnina di ricarica. Non è ancora diventato standard.

Batterie, infrastrutture e tecnologie di ricarica

COMPATIBILITÀ CON LIVELLI DI POTENZA MEDIO/ALTI	ILLUSTRAZIONE
No	
No	
Si	
Si	
No	
Si	
Si	
Si	

Nel Modo 3 di ricarica è importante che la stazione di ricarica individui la sezione del cavo collegato per erogare una corrente sopportabile dal cavo. Questa funzione è definita resistor coding. La corrente impostata dal PWM non può prescindere quella determinata dal resistor coding. Nel caso di assorbimenti superiori, la stazione deve interrompere la carica.

Per la ricarica di Modo 4 in DC sono possibili differenti soluzioni, descritte nella futura IEC 62196-3 la cui pubblicazione è prevista all'inizio del 2014, sia di tipo misto AC+DC, sia di tipo DC puro. Attualmente, in Europa la soluzione più diffusa è quella proposta dall'associazione CHAdeMO. Si tratta di un sistema di connessione puro DC (500V/125A).

5.8

SITUAZIONE NORMATIVA EUROPEA A INIZIO 2013

Con il riconoscimento dell'enorme potenzialità che la mobilità elettrica ha in sé come uno dei possibili mezzi per il raggiungimento degli obiettivi europei al 2020 in termini di riduzione delle emissioni di gas, di aumento nell'efficienza energetica e di incremento di energia proveniente da fonti rinnovabili, si è assistito a partire dal 2009 a un forte coinvolgimento di tutti i principali organismi di standardizzazione nell'attività di normazione degli aspetti tecnici riguardanti il

FIGURA 30

Struttura Normativa Nazionale, Europea e Internazionale.

	Struttura Normativa			Regolamenti
	Generale	Elettrotecnica/ elettronica	Telecomunicazioni	
Internazionale				 UNECE
Europea				
Nazionale (Italia)			Concit (Cenunmsct)	Legislazione Nazionale

veicolo elettrico. Solo un corpo di norme armonizzate a livello internazionale può garantire la diffusione di massa del veicolo elettrico. Tuttavia, la standardizzazione della mobilità elettrica risulta essere ancora più complicata rispetto ad altri settori in quanto il veicolo EV/PHEV può essere considerato sia come un dispositivo elettrico sia come veicolo su strada, ciascuno con i propri comitati regolatori e con approcci differenti.

In Figura 30 sono indicati i principali organismi operanti nell'attività di standardizzazione della mobilità elettrica in ambito internazionale ed europeo, senza dimenticare il livello nazionale.

Ciascun organismo di standardizzazione è organizzato, in base all'argomento trattato, in Comitati Tecnici (CT) a loro volta suddivisi in SottoComitati (SC). A livello nazionale, oltre ai Comitati Tecnici "mirror" dei corrispondenti comitati internazionali, per affrontare in maniera strutturata la tematica della mobilità elettrica, a inizio 2010 il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) ha costituito il Comitato Tecnico CT 312 "Componenti e sistemi elettrici ed elettronici per veicoli elettrici e/o ibridi per la trazione elettrica stradale" a cui partecipano i tecnici RSE.

Tale Comitato ha lo scopo di provvedere alla normazione dei motori ad alimentazione elettrica per trazione elettrica stradale a due, tre e quattro ruote, dei dispositivi elettrici ed elettronici di avviamento, commutazione, regolazione e controllo di tali tipi di motori, e degli accumulatori speciali.

È importante notare che nel recepimento italiano della IEC 61851-1 ed. 2 (2011) è stata inserita una premessa nella quale si precisa che "al fine di garantire la necessaria sicurezza durante la carica conduttiva dei veicoli elettrici, quando questa viene eseguita in ambiente aperto a terzi deve essere adottato il Modo di carica 3".

Inoltre, si evidenzia che "in Italia, il Modo di carica 1 è consentito solamente in ambiti strettamente privati non aperti a terzi, quali ad esempio ambienti il cui accesso necessita di chiavi, attrezzi particolari, eccetera, in possesso del proprietario". Nel giugno 2010 la Commissione Europea aveva conferito un mandato (M/468) agli Organismi europei di standardizzazione con il quale li invitava a un'attività di analisi e revisione della normativa esistente nel settore della mobilità elettrica e/o a svilupparne di nuovi, ma soprattutto a definire un unico sistema di ricarica europea per i veicoli elettrici stradali. Al fine di svolgere questo compito nella maniera più efficiente e veloce, CEN e CENELEC hanno combinato la loro attività e creato uno specifico Focus Group (FG) sul tema dell'elettromobilità europea.

Nel luglio 2011 il Focus Group ha prodotto un corposo Rapporto

Tecnico contenente ben 69 raccomandazioni che investono tutti gli ambiti coinvolti nella mobilità elettrica, senza tuttavia raggiungere un accordo, tra Germania che spingeva sull'adozione del connettore Tipo 2 e Italia-Francia che propendevano per l'adozione del Tipo 3c.

Per dare corso alle principali raccomandazioni contenute nel Rapporto Tecnico, monitorando e indirizzando la loro attuazione, all'inizio del 2012 è stato creato un gruppo di coordinamento attraverso la costituzione dell'eMobility Coordination Group (eM-CG). A metà dicembre 2012 gli organismi europei di standardizzazione CEN e CENELEC hanno inviato al Vicepresidente della Commissione Europea una nuova lettera, nella quale si faceva presente la difficoltà perdurante nel trovare un accordo, all'interno della comunità coinvolta nei lavori normativi, che potesse portare a individuare un unico connettore in grado di garantire l'interoperabilità fisica dei veicoli elettrici in Europa.

Tale mancanza di accordo è da imputare ai differenti interessi che riguardano motivi non esclusivamente tecnici delle parti coinvolte nell'attività di standardizzazione, e pertanto si auspicava un intervento dell'Autorità regolatoria che potesse agire da catalizzatore verso un allineamento delle posizioni.

A fine gennaio 2013 la Commissione Europea, nell'ambito di misure volte ad assicurare la diffusione nel territorio europeo di carburanti alternativi puliti (biocarburanti, idrogeno, gas naturale nelle varie forme ed elettricità), ha pubblicato, per il combustibile "energia", una proposta di direttiva [59] che contiene le seguenti raccomandazioni per la standardizzazione dell'infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici:

- gli Stati Membri dovranno assicurare entro il 2020 un numero minimo di punti di ricarica;
- il 10 per cento di questi punti di ricarica dovrà essere accessibile a tutti;
- entro il 2015 le stazioni di ricarica lenta in AC, per motivi di interoperabilità, dovranno avere la predisposizione per il connettore di Tipo 2 secondo la norma IEC 62196-2:2012;
- entro il 2015 le stazioni di ricarica veloce in AC, per motivi legati all'interoperabilità, dovranno avere la predisposizione per il connettore di Tipo 2 secondo la norma IEC 62196-2:2012;
- entro il 2017 le stazioni di ricarica veloce in DC, per motivi di interoperabilità, dovranno essere equipaggiate con connettore Combo2, come descritta nel relativo standard che sarà adottato entro il 2014.

L'iniziativa della Commissione Europea, senza che si sia ancora tradotta in una Direttiva Comunitaria, ha avuto come risultato quello di imprimere un'accelerazione agli incontri bilaterali, tra Italia e Germania, che si stavano svolgendo ed erano volti all'individuazione di un connettore unico europeo. Il punto di incontro è stato trovato nel connettore di Tipo 2 dotato di shutter per le vetture elettriche e nel connettore di Tipo 3a per i veicoli leggeri (ad esempio scooter).

5.9

CONCLUSIONI

Diverse batterie al litio sono in grado di competere per le applicazioni veicolari ma attualmente nessuna di loro presenta contemporaneamente un basso costo, un'alta densità di energia e un'elevata vita operativa. Tutte presentano dei tempi di ricarica molto buoni e inferiori ad un'ora (10 minuti nel caso delle batterie con anodo al titanato) per ricariche fino all'80 per cento della capacità massima, alta potenza specifica oltre a efficienze energetiche tipicamente superiori al 90 per cento.

Le prospettive sono molto incoraggianti e si prevede per la fine di questo decennio di produrre celle con prestazioni più elevate, vite superiori a 5.000 cicli e una forte riduzione dei costi. Se si considera che la media europea delle percorrenze giornaliere nel 75 per cento dei casi si attesta sotto i 50 km, poiché i più recenti veicoli immessi sul mercato hanno consumi compresi tra i 120-150 Wh/km si può calcolare un fabbisogno giornaliero di energia di 6-8 kWh. Possiamo facilmente immaginare che tale esigenza possa essere soddisfatta, in maniera economicamente conveniente per l'utente, attraverso una ricarica domestica (a 3 kW) notturna 2 o 3 volte la settimana, oppure privata presso il luogo di lavoro. Tuttavia le recenti innovazioni tecnologiche stanno portando sul mercato vetture con autonomie dichiarate di 210 km.

Questo tipo di veicoli è idoneo anche per affrontare viaggi, la cui necessità nella maggior parte dei casi si verifica qualche volta l'anno, che comportano la percorrenza di qualche centinaio di chilometri. È tuttavia impensabile che chi affronta questo tipo di missione sia disposto a fermarsi per più di 30-40 minuti, lasso di tempo compatibile con una breve sosta per consumare un pasto veloce, per la necessità di effettuare una ricarica. Ed è proprio questa la direzione verso cui si stanno orientando le nuove tipologie di ricarica, vale a dire su punti di ricarica veloce a 43 kW in AC o 50 kW in DC.

A tali livelli di potenza in 15-30 minuti la batteria di un veicolo può essere ricaricata almeno all'80 per cento della propria capacità. Questo tipo di stazioni di ricarica trova la sua naturale collocazione lungo le direttrici autostradali o lungo strade statali a veloce scorrimento. Entrambe queste tipologie di ricarica potrebbero trovare spazio proprio nelle attuali stazioni di servizio che in questo modo diventerebbero stazioni ibride, cioè dotate sia di pompe per carburanti di origine fossile sia di punti di ricarica per veicoli elettrici.

A queste considerazioni bisogna aggiungere che l'armonizzazione degli standard per i connettori di ricarica è tra le questioni prioritarie per il futuro della mobilità elettrica. La proposta di Direttiva avanzata dalla Commissione Europea, che ha indicato i connettori di Tipo 2 come standard per la ricarica in AC e il Combo per la ricarica in DC, ha impresso una svolta negli incontri bilaterali tra enti normatori italiani e tedeschi che hanno sottoposto alla valutazione dei Comitati tecnici internazionali ed europei l'utilizzo del connettore di Tipo 2 con l'aggiunta di un otturatore opzionale per l'infrastruttura di ricarica in AC.

In questo modo verrebbero salvaguardate le esigenze di sicurezza messe in risalto da Italiani e Francesi, pur garantendo la completa compatibilità con quei connettori non dotati di otturatori. Inoltre, tra Italia e Germania è stato raggiunto un accordo sul fronte dei sistemi di ricarica rivolti ai veicoli leggeri (principalmente scooter) dove è stato indicato come scelta il connettore il Tipo 3a senza otturatori.

Il Capitolo 3 ha evidenziato che l'impatto delle auto elettriche a livello di macrosistema elettro-energetico nazionale è minimo, sostanzialmente non comportando l'installazione né di nuovi impianti di produzione né di nuove linee di trasporto di energia ma semplicemente utilizzando meglio l'esistente, anche in uno scenario 2030.

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 di 30 minuti). Inoltre, presenta uno studio sui sistemi di accumulo posti in stazioni di ricarica veloce per renderle adatte a essere connesse anche a reti di Media Tensione (MT) di tipo rurale, turistico oppure alle reti di Bassa Tensione (BT).

6.1

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 [61], l'impatto sulle reti di distribuzione è significativo, poiché un'auto elettrica media consuma quasi come una famiglia italiana media [62].

Infatti, ipotizzando una percorrenza di 12.000 chilometri/anno per auto e un consumo specifico di 170 Wh/km, è possibile stimare i consumi di energia elettrica di ciascuna auto in circa 2.000 kWh/anno, equivalenti al 75 per cento dei consumi della famiglia media italiana (2.700 kWh/anno secondo le stime AEEG).

Consumi di un'auto elettrica che percorre 12.000 km l'anno:
$12.000 \text{ km/anno} * 0,17 \text{ kWh/km} = 2.040 \text{ kWh/anno}$

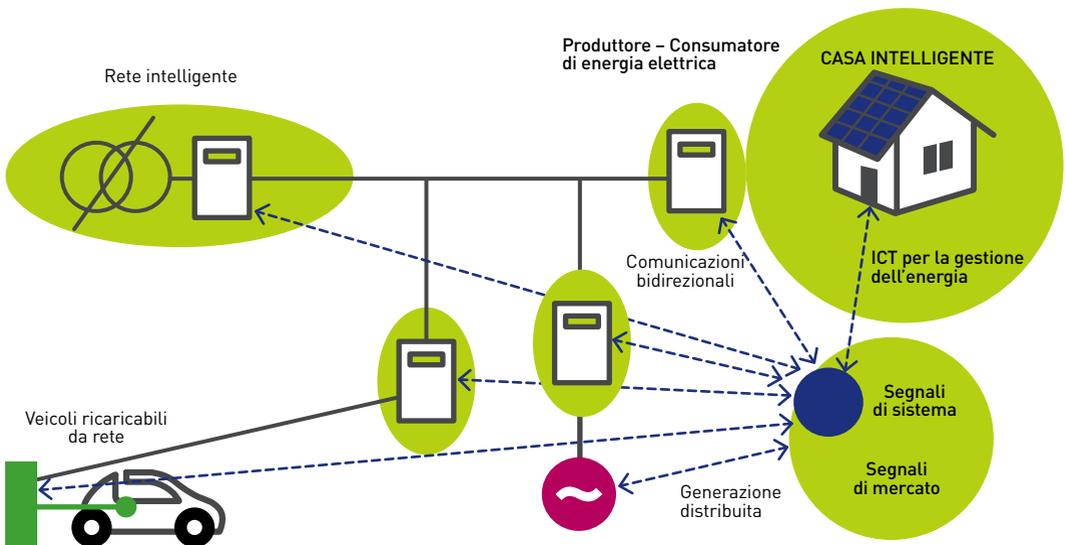
L'introduzione delle auto elettriche nel contesto italiano avviene in uno scenario in cui la misura intelligente è integrata con l'infrastruttura di ricarica e con i sistemi di gestione e di telecontrollo della rete elettrica. Tale integrazione consente di ottimizzare le potenze messe a disposizione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

Le auto elettriche infatti sono un comodo serbatoio 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 – smart grid – come mostrato in Figura 31.

FIGURA 31

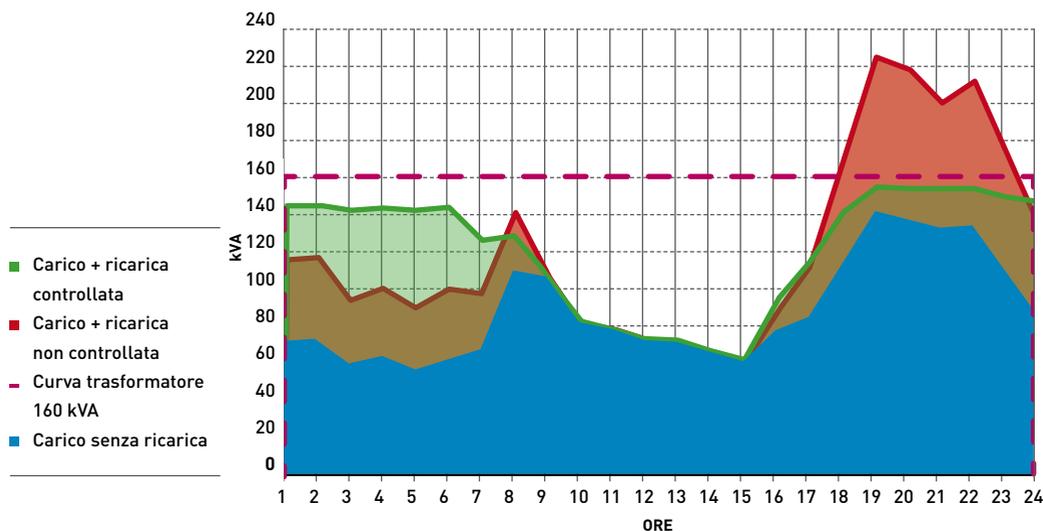
Sistema di comunicazione bidirezionale per la gestione di una rete intelligente in Bassa Tensione e dei punti di ricarica dei veicoli elettrici.



Impatto sulle reti elettriche

FIGURA 32

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 smart grid.



In questo modo è possibile una “mitigazione” della domanda come indicato in Figura 32, evitando così la sostituzione dei componenti che formano le reti elettriche della distribuzione (cavi e trasformatori). Osservando la figura appare evidente che, mentre senza smart grid un trasformatore da 160 kVA dovrebbe essere sostituito, nel caso della presenza di una smart grid risulterebbe ancora sufficiente a soddisfare la domanda.

6.2

SINERGIE CON IL SISTEMA ELETTRICO

In uno scenario 2030 i veicoli elettrici possono diventare utili anche per fornire servizi di supporto al sistema elettrico, i cosiddetti “servizi ancillari” [62]. Per loro natura le autovetture trascorrono la maggior parte del tempo ferme: in media risultano in movimento per due ore al giorno e parcheggiate per le rimanenti 22 ore.

Se si pensasse a uno scenario in cui le auto elettriche in sosta fossero sempre connesse alla rete elettrica attraverso convertitori statici bidirezionali, pronte ad assorbire o a cedere energia, sarebbe anche possibile utilizzarne i relativi accumulatori per assorbire gli eccessi

di produzione di energia elettrica e per restituirli al sistema nei periodi di maggior domanda.

Per ogni milione di auto elettriche connesse in modalità Vehicle to grid (V2G) ciascuna con possibilità di immagazzinare, oppure di immettere in rete energia pari alla metà della propria capacità (stimabile in 10 kWh per auto), si avrebbe una riserva di energia disponibile pari a 10 GWh, distribuita sulla rete. Ipotizzando 3 kW per ciascun punto di ricarica si potrebbe contare su una potenza pari a 3.000 MW, rilevante ai fini della gestione di un sistema elettrico nazionale anche delle dimensioni di quello italiano.

È per questa ragione che nei Paesi dell'Europa settentrionale si è già pensato alla possibilità di immagazzinare negli accumulatori delle auto elettriche l'energia prodotta in eccesso dalle fonti rinnovabili per poi restituirla alla rete nei periodi di scarsa produttività delle stesse fonti. C'è ancora molto scetticismo sull'implementazione pratica di questa possibilità, perché porterebbe a un impiego non ottimale degli accumulatori e a una maggiore complessità delle autovetture; la ricerca però continua, perché la stessa tecnologia potrebbe essere utile nella gestione dell'energia domestica.

Infatti, l'energia accumulata in un'auto elettrica potrebbe alimentare un'abitazione italiana media per quasi una settimana, quindi sarebbe un valido supporto al consumatore finale attivo specialmente in zone rurali e in momenti di emergenza.

6.3

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) [63]. Inoltre la ricarica lenta è quella che maggiormente salvaguarda le batterie. Lo scenario presentato nel Capitolo 4 considera che nel 2030 il 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 "MArgine REte" (MARE) realizzato da RSE, utilizza i dati in possesso delle aziende della distribuzione per calcolare quante auto elettriche possono ricaricarsi da ciascun nodo

Impatto sulle reti elettriche

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 [64].

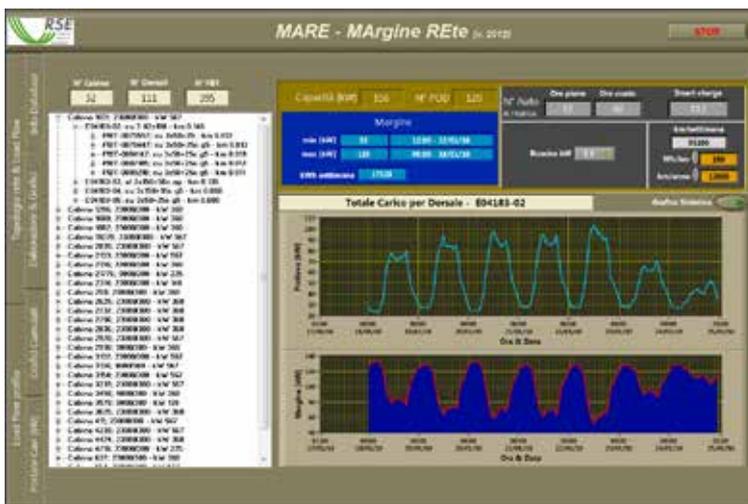
La Figura 33 mostra i dati relativi a una linea dorsale. La curva azzurra rappresenta l'effettivo carico della dorsale, calcolato sommando le curve di carico quartorarie dei contatori elettronici sottesi; la curva rossa rappresenta il margine in potenza, calcolato facendo la differenza tra i limiti termici (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 [64].

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

FIGURA 33

Sintesi dei dati relativi alla hosting capacity di una linea dorsale.



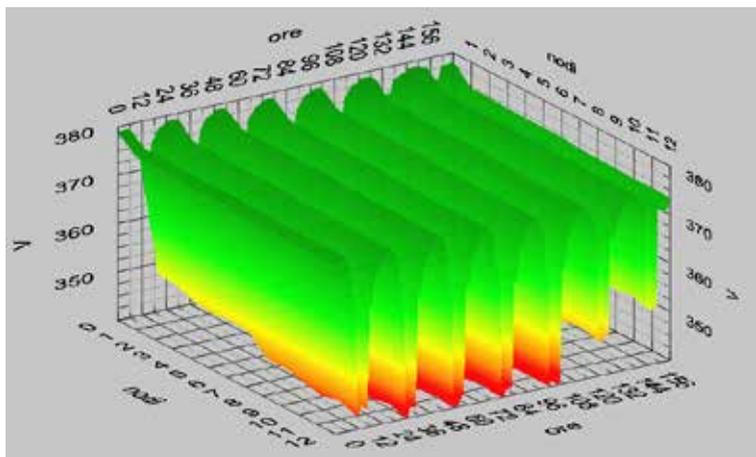
delle EV, è possibile stimare il numero di EV massimo (teorico) che potrebbe fare riferimento a ciascuna porzione di rete (presa, dorsale e trasformatore). Ai fini della pianificazione di rete, quindi, il margine in potenza dà indicazioni utili a stimare la capacità recettiva della rete in termini di 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 smart grid; 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

FIGURA 34

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



Impatto sulle reti elettriche

i nodi della rete. La Figura 34 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 e lo scenario cittadino al 2030 considerato, ovvero una percentuale di penetrazione delle auto elettriche del 45 per cento nelle città metropolitane, dai dati raccolti per la città di Milano la ricarica lenta presso le utenze domestiche non sembra costituire un particolare problema dal punto di vista del sovraccarico e dal punto di vista della sotto-tensione.

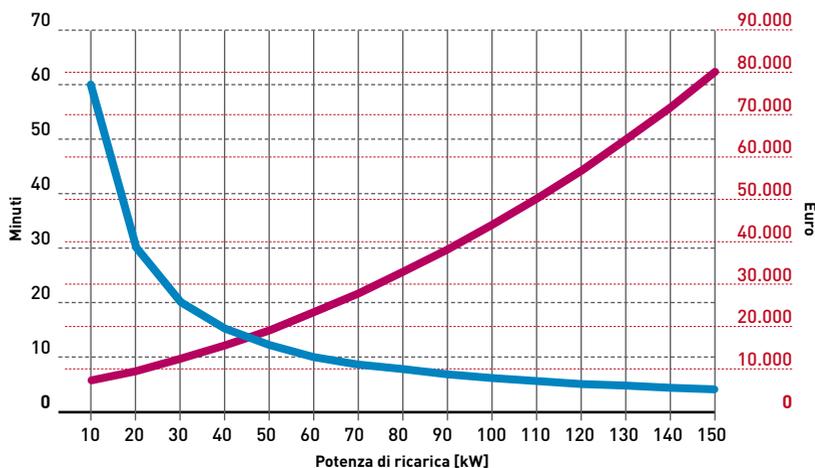
6.4

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).

FIGURA 35

Costi (indicativi) verso tempo di ricarica in funzione della potenza dell’infrastruttura di ricarica veloce.



Per ridurre questo tempo stanno evolvendosi nuovi sistemi in grado di aumentare la potenza massima di erogazione di energia sia in corrente alternata (fino a 43 kW in AC) sia in corrente continua (oltre 50 kW in DC), anche se i costi per questi ultimi permangono elevati.

La Figura 35 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.

Stima della domanda per la rete di distribuzione

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) [65].

Il profilo di mobilità presentato in Figura 12 (nel Capitolo 3 a pagina 40) 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;

Impatto sulle reti elettriche

- **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.

Geolocalizzazione delle stazioni di ricarica rispetto la rete MT

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 kW¹, si rende necessaria la connessione di tutti i futuri distributori ibridi alla rete MT.

Gli attuali distributori sono stati quindi stati 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 36 (a pagina 102) 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.

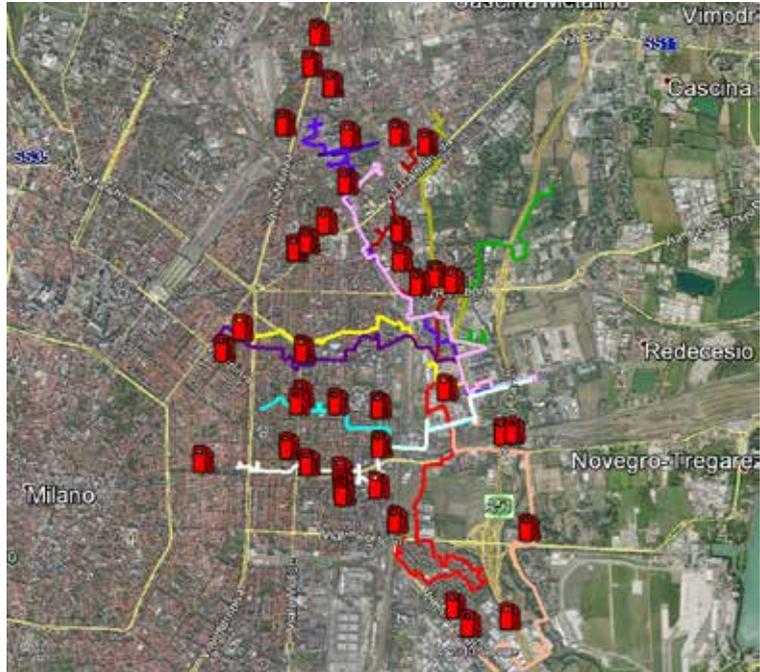
In base a queste considerazioni risulta evidente che la rete studiata è in grado di provvedere alla potenza e all'energia richiesta per la ricarica rapida.

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:

¹ Salvo casi particolari da concordare con il distributore, ma per potenze comunque inferiori a 200 kW.

FIGURA 36

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.

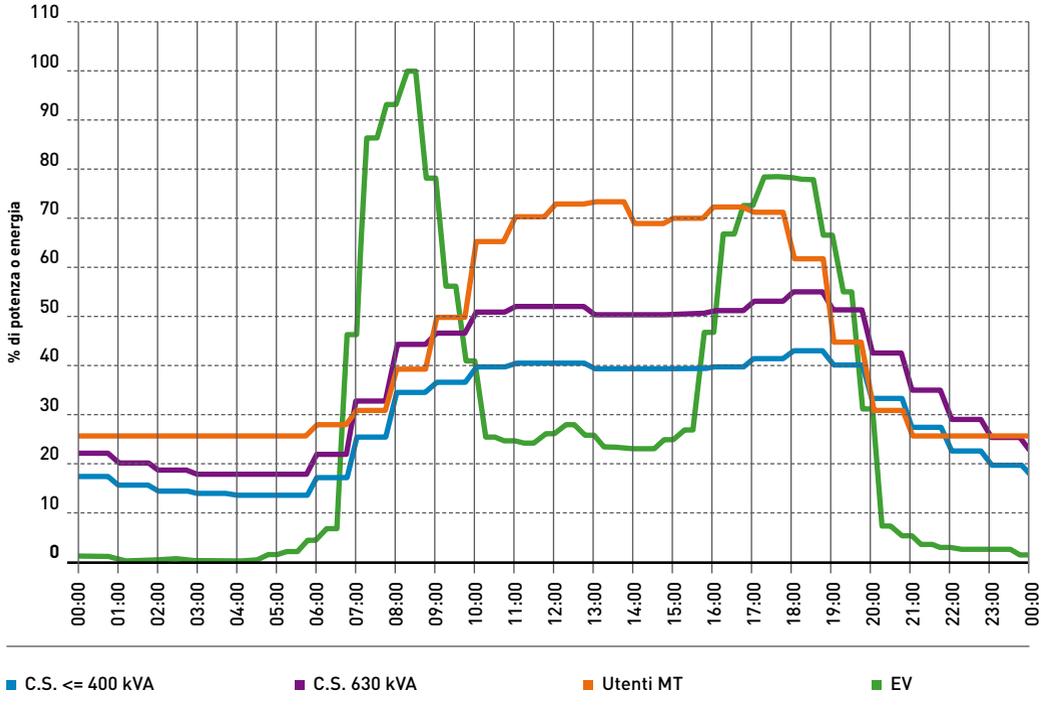
Questi profili vengono applicati ai carichi effettivamente installati nei nodi della linea MT, simulando in questo modo il prelievo da rete nell'arco di una giornata. I primi 3 profili di Figura 37 (cabine secondarie e utenti MT) sono rapportati alla taglia dei trasformatori o della potenza disponibile 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 12 (Capitolo 3). Le ipotesi di esercizio considerate sono:

- fattore di utilizzo dei feeder sempre al di sotto del 50 per cento (limite imposto per rendere possibile la contro-alimentazione in

Impatto sulle reti elettriche

FIGURA 37

Curve caratteristiche dei carichi connessi alla rete MT.



caso di guasti o manutenzione);

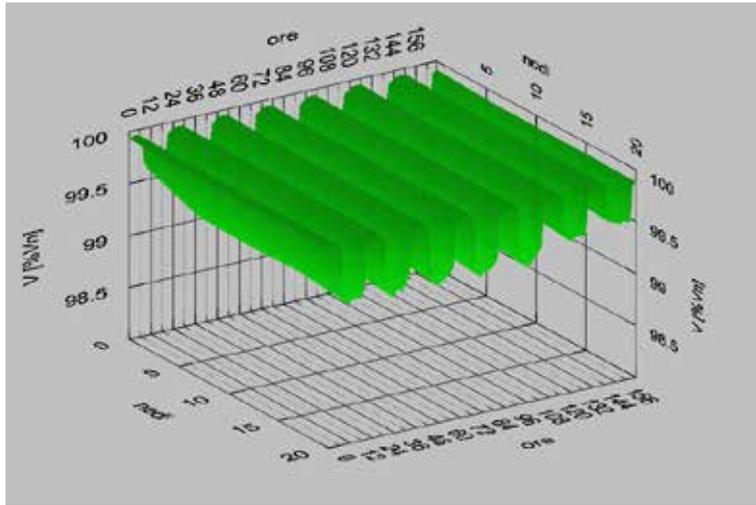
- ogni distributore con ricarica veloce si comporta come un carico puramente passivo con il profilo di richiesta “proporzionale”.

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.

FIGURA 38

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.



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 38 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.

6.5

IMPATTO DELLA RICARICA VELOCE SULLA RETI 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 [66]. 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 39) e l'importanza dell'utilizzo di accumuli sulle reti MT (Figura 40) [67].

FIGURA 39

Rete di distribuzione MT modellata in RSE con stazioni di ricarica EV (stelle).

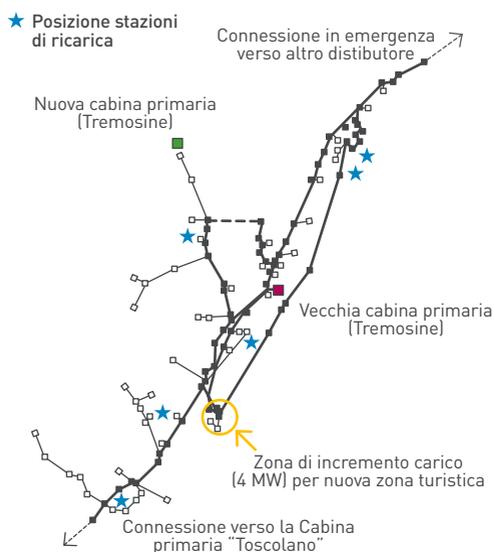
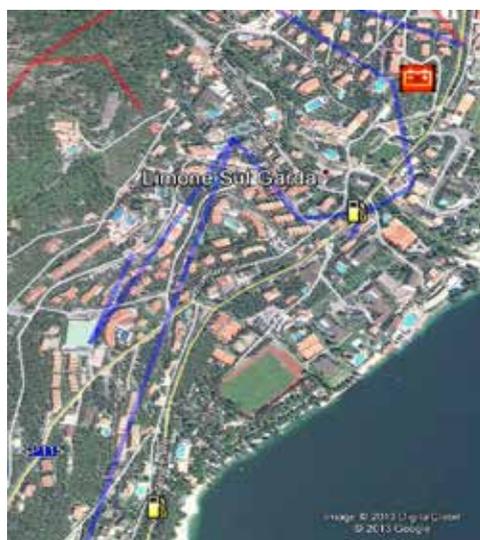


FIGURA 40

Ipotesi di posizionamento dell'accumulo sulla rete MT.



6.6

ACCUMULO NELLE STAZIONI DI RICARICA PUBBLICHE

Al fine di permettere la connessione dei distributori di ricarica veloce alle reti rurali e in zone turistiche o alle reti BT, sono state sviluppate diverse ipotesi di distributore ibrido che utilizzano un accumulo locale in grado di erogare l'energia necessaria, contenendo i costi di allaccio e di fornitura di energia elettrica. Le soluzioni studiate differiscono principalmente per la taglia dell'accumulo e per i servizi e le strategie implementabili [65].

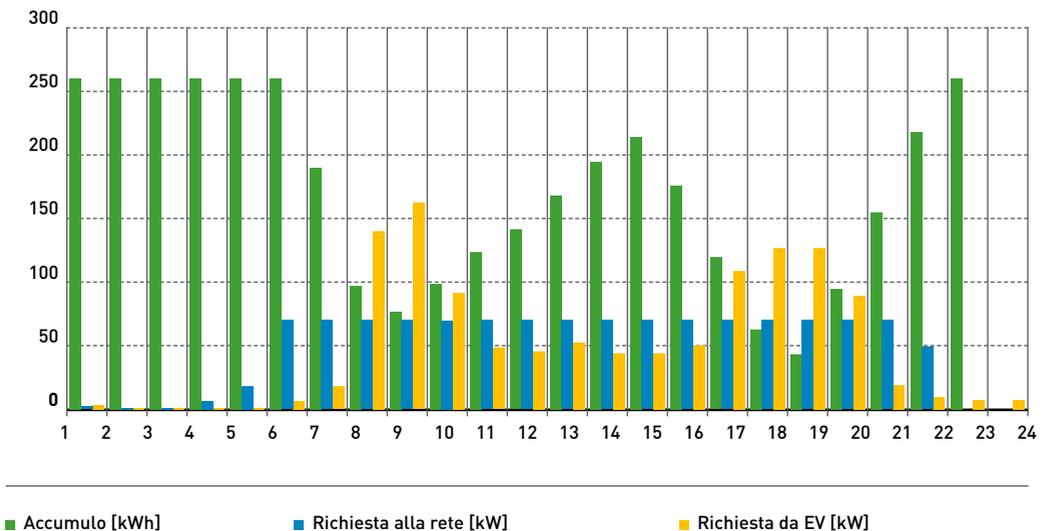
L'alto costo d'investimento dell'accumulo al momento non premia l'utilizzo dell'accumulo di grandi dimensioni, in grado di fornire funzionalità utili anche per sfruttare il differenziale di prezzo ore piene/ore vuote, mentre favorisce una soluzione che minimizza le dimensioni dell'accumulo dell'impianto, che è stata chiamata "a polmone".

Questa soluzione ha l'obiettivo di abbassare i picchi di richiesta di energia alla rete e i costi di connessione, risultando quindi utile per la connessione dei distributori veloci nelle zone rurali, oppure alle reti BT.

La Figura 41 mostra un utilizzo tipico per questa tipologia d'impianto. Si può notare che sebbene il prelievo da rete sia costante

FIGURA 41

Impianto di ricarica con accumulo "a polmone": profili di prelievo.



Impatto sulle reti elettriche

durante le ore centrali della giornata e insufficiente a soddisfare la richiesta di energia da parte dei veicoli elettrici, il serbatoio accumula gli esuberanti di energia e cede l'energia a seconda delle necessità.

In questo modo la potenza al punto di allaccio rimane limitata (circa 70 kW nell'esempio mostrato) e l'accumulo ha una taglia, e quindi un costo, contenuti. In questo caso può essere prevedibile un allaccio in "antenna" dell'impianto alla linea BT, limitando così fortemente i costi d'investimento. Tale sistema è anche idoneo a essere impiegato in reti MT rurali o turistiche.

6.7

CONCLUSIONI

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 il giorno. La naturale connessione delle stazioni di rifornimento ibride 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 controllati direttamente dal sistema di controllo delle smart grid.

Per questo motivo si raccomanda fin da subito di promuovere solo l'installazione di questa tipologia di punti di ricarica.

Promuovere la diffusione della mobilità elettrica

La vastissima diffusione dei motori a combustione interna, così come la loro maturità tecnologica, fa sì che questi rappresentino ad oggi la soluzione più economica, affidabile e funzionale per la trazione veicolare. Sistemi innovativi quali quelli a basse emissioni, dal gas naturale all'elettrico, si trovano dunque a scontrarsi con barriere di ingresso al mercato particolarmente gravose, soffrendo di un confronto spesso impari.

FIGURA 42



I vantaggi della mobilità elettrica, e in particolare l'impatto significativo che il suo sviluppo può avere sulla qualità dell'aria (e della vita) nelle città, non sono in effetti immediatamente valorizzati economicamente e ciò, unito alle limitazioni di utilizzo ancora esistenti, fa sì che la scelta di dotarsi di un veicolo elettrico sia ancora estremamente rara. Per cercare di ovviare a questa fase di difficoltà del settore, che rischia di rimanere imbrigliato in un circolo vizioso nel quale domanda e offerta non trovano punti di incontro, appare necessario intervenire esternamente, tramite un supporto politico e istituzionale che faccia sì che l'utente della mobilità elettrica sia non solo tutelato, ma anche direttamente avvantaggiato rispetto all'utente del veicolo tradizionale.

I soggetti coinvolti in tale fase di supporto possono essere molteplici, così come diverse sono le modalità con cui gli stessi possono operare. In particolare, è possibile identificare diversi livelli di intervento, a partire dal singolo Comune sino a giungere all'Unione Europea, e diversi strumenti di stimolo del mercato, come meglio dettagliato in seguito.

Si noti che i vari livelli e strumenti, se pur trattati separatamente per comodità, rappresentano in realtà un sistema estremamente intersecato e intercorrelato, in cui ciascuna azione può avere forti ripercussioni su tutte le altre. Si noti ancora, infine, che nonostante la fase decisionale vera e propria sia obbligatoriamente demandata ad organi di tipo istituzionale, l'attività parallela di molti altri soggetti quali associazioni, imprese o centri di ricerca quali la stessa RSE, possa svolgere un contributo sostanziale nell'avvicinare le istanze degli utenti e del mercato agli organi decisionali, così come nell'identificare percorsi di sviluppo ottimali per il sistema Paese.

7.1

IMPOSIZIONI TECNICO-AMBIENTALI

Uno degli strumenti più incisivi a livello istituzionale per promuovere una soluzione tecnologica virtuosa è sicuramente l'imposizione a livello normativo. Nel caso in cui si affrontino temi riconosciuti come particolarmente rilevanti a livello di impatto sulla salute e sulla qualità della vita delle persone, non è infatti raro che alcuni organi istituzionali impongano prescrizioni che vadano ad incidere anche in maniera estremamente rilevante su scelte tecniche e tecnologiche.

E il settore dei trasporti è proprio uno degli esempi chiave di quanto appena affermato. Le gravi problematiche legate alle emissioni dei gas di scarico, universalmente riconosciute ormai da decenni, hanno fatto sì che a partire dal 1991 siano state introdotte sul territorio europeo norme anti-inquinamento progressivamente sempre più severe, di carattere puramente impositivo. Tali norme, già citate nel Capitolo 2 e comunemente note come "Euro 0", "Euro 1" e successive, impongono che i veicoli immessi sul mercato a partire da una data specifica (1 gennaio 1993 per la normativa "Euro 1") rispettino limiti ben precisi in termini di emissioni allo scarico.

Un intervento come quello appena descritto ha avuto come risultato un notevole mutamento delle soluzioni tecnologiche adottate in campo veicolare, agendo in termini impositivi su un livello molto "alto" del mercato, vale a dire i grandi produttori del mondo *automotive*. Ad oggi, interventi di questo tipo sembrano poter rappresentare il primo e originario spunto anche verso l'ingresso nel mondo della mobilità elettrica dei grandi produttori.

In Europa è infatti attualmente in fase di approvazione una norma che imporrà ai costruttori di veicoli di avere, nel 2020, un "livello medio di emissioni" per la propria flotta non superiore a 95 gCO₂/km.

Promuovere la diffusione della mobilità elettrica

Considerando che il livello medio di emissioni attuale è di circa 135 gCO₂/km, tale obiettivo potrà essere presumibilmente raggiunto solo mediante una opportuna elettrificazione dei veicoli, ovvero tramite la realizzazione di mezzi ibridi o elettrici puri. Un simile esempio di imposizione, ma ancor più diretta, è quella adottata dallo Stato della California e denominata *Zero Emission Vehicle Mandate*, inserita all'interno delle più ampie *Low Emission Vehicle regulations*, introdotte già a partire dal 1990.

Lo *ZEV Mandate*, come ad oggi vigente, impone infatti ai grossi costruttori di autoveicoli di inserire all'interno della propria flotta almeno il 3 per cento di veicoli a zero emissioni, cioè veicoli totalmente elettrici o con tecnologia fuel cell, pena il divieto di vendere i propri prodotti all'interno del territorio californiano. Esempio lampante dell'efficacia di una normativa di imposizione come quella appena descritta è fornito dalla decisione di Fiat di presentare, proprio per il mercato californiano, la versione "puro-elettrico" del modello 500.

Nonostante le ben note prese di posizione dell'Amministratore Delegato Sergio Marchionne nei confronti della tecnologia elettrica e le dichiarate perdite economiche nella realizzazione dello stesso, il modello 500e è stato presentato a dicembre 2012, con inizio vendite nell'estate 2013.

Come evidenziato dai due esempi appena descritti, un intervento di tipo impositivo di ampio spettro è tendenzialmente portato avanti da importanti organismi nazionali o, più spesso, internazionali. In Europa, attore principale è l'Unione Europea, che attraverso lo strumento delle Direttive o dei Regolamenti interviene direttamente sulla struttura normativa di tutti gli Stati membri.

7.2

FACILITAZIONI FUNZIONALI

La tipologia di intervento istituzionale appena descritta svolge un ruolo estremamente importante per far sì che sul mercato si presenti almeno una prima forma di offerta di veicoli. Non interviene di fatto in alcun modo sul lato domanda, che sembra però aver bisogno di essere stimolata a sua volta. Con la dicitura "facilitazioni funzionali" si vogliono in questo caso indicare tutti quegli interventi che hanno lo scopo di rendere più semplice, per il possibile acquirente, l'utilizzo dei veicoli elettrici, notoriamente caratterizzati da alcune limitazioni in termini funzionali, e di valorizzare le loro caratteristiche virtuose (assenza di emissioni e silenziosità).

7.3

AGEVOLARE LA RICARICA

Come noto, e come già descritto all'interno di questa monografia, le auto elettriche attualmente in commercio presentano autonomie limitate (100-180 km) e tempi di ricarica abbastanza lunghi (6-8 ore). Ad oggi, tali caratteristiche fanno sì che la scelta di acquistare un veicolo elettrico sia possibile solo per utenti che prevedono un utilizzo esclusivamente urbano e che dispongono di un box privato già predisposto dal punto di vista elettrico per l'installazione di una *wallbox* di ricarica.

La stessa possibilità di installare un punto di ricarica domestico rappresenta in verità un primo aspetto su cui è stato necessario un importante intervento istituzionale, che ha visto come attore nel nostro Paese l'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG); con la Deliberazione 19 aprile 2010 – ARG/elt 56/10 essa ha infatti reso possibile l'installazione di un secondo contatore dedicato alla ricarica dei veicoli elettrici, precedentemente non ammesso.

La stessa AEEG, con il supporto della Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali a batteria, ibridi e a celle a combustibile (CIVES), sta continuando a portare avanti istanze in quest'ambito, che stanno trovando applicazione nel nuovo Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica (PNIRE).

All'interno del Piano si legge infatti che per poter ottenere il titolo abilitativo edilizio i nuovi edifici dovranno essere dotati di predisposizione all'allaccio di infrastrutture per la ricarica dei veicoli. Un vincolo sull'allestimento di un numero minimo di stalli di ricarica sarà definito anche per le autorimesse e i parcheggi multipiano che offrono servizio di affitto a lungo termine di posti auto, in quanto essi vanno a rappresentare, in termini funzionali, un vero e proprio analogo al box per auto privato. Ancora ragionando in termini di ricarica a bassa potenza, si rileva come una forte utilità potrebbe provenire dalla installazione di punti di ricarica presso i luoghi di lavoro, dove è perlopiù "garantita" una sosta di media-lunga durata da parte dell'utente. Se tale installazione può avvenire senza troppe criticità in caso di aziende con aree di parcheggio private, non vale lo stesso per quelle che non ne dispongono, le quali iniziano a richiedere che i punti di ricarica siano predisposti su suolo pubblico in zone adiacenti alla sede. Affinché ciò possa accadere, è richiesto di nuovo un intervento istituzionale che coinvolga sia il singolo Comune in grado di deliberare su questa particolare forma di "occupazione di suolo pubblico", sia il Governo nazionale che fornisca ad esempio alcune "Linee Guida per l'installazione delle colonnine su suolo pubblico", che diano risposte unitarie a livello nazionale alle

Promuovere la diffusione della mobilità elettrica

FIGURA 43

I punti di ricarica potrebbero trovare una installazione “privilegiata” presso le tradizionali stazioni di servizio.



molte problematiche (di sicurezza, economiche, normative) aperte da queste richieste.

Muovendosi su un piano temporale più di medio-lungo periodo, sarà fondamentale adottare politiche di sviluppo che considerino l'importanza delle modalità di ricarica di tipo veloce, prioritaria per permettere una rapida evoluzione della mobilità elettrica privata. L'installazione di sistemi di ricarica ad alta potenza garantisce infatti la possibilità di portare a termine missioni con percorrenza superiore all'autonomia del veicolo senza soste di eccessiva durata, riducendo molto gli effetti “barriera” dettati dalla cosiddetta “ansia da autonomia” e dal “confronto auto elettrica – auto tradizionale”. Inoltre, essa andrebbe a rappresentare una fondamentale possibilità di ricarica per gli utenti che non hanno a disposizione un posto auto privato e che non svolgono quindi ricariche domestiche di tipo lento. In termini di localizzazione di tali punti di ricarica, si ritiene che una scelta razionale possa essere quella di privilegiare l'installazione presso le stazioni di servizio attualmente finalizzate all'erogazione di combustibili fossili, in modo da renderle stazioni di tipo ibrido.

Queste stazioni sono circa 9.500 in Italia e rappresenterebbero siti ottimali in quanto:

- localizzate in funzione della domanda reale;
- presidiate durante le ore lavorative, sia sulle autostrade sia nelle città e nei paesi;
- video-sorvegliate (o presidiate) durante la notte;
- già connesse alla rete elettrica;
- localizzate in prossimità (< 300 metri) di una linea di Media Tensione;

- dotate di spazi per eventuali batterie di accumulatori;
- dotate di spazi di parcheggio;
- già mappate nei sistemi di navigazione;
- distribuite in tutta Europa;
- percepite da molti come punto di riferimento “noto e familiare”.

In aggiunta ai punti di ricarica presso le stazioni di servizio, si ritiene che possano essere convenientemente installati alcuni punti di ricarica veloce presso quei poli attrattori del traffico che servono una utenza significativa, risultano già collegati alla rete elettrica in Media Tensione e sono caratterizzati da tempi di sosta compatibili.

Tra questi ricordiamo: centri commerciali, supermercati, grandi operatori di vendita, cinema multisala, parchi divertimento e zone fieristiche. Considerazioni di questo tipo sono state portate avanti, anche dalla stessa RSE, in vista dell'adozione del già citato PNIRE, in quanto un adeguato intervento istituzionale di pianificazione in questo senso può rappresentare un passo molto significativo verso l'eliminazione di molte difficoltà del settore della mobilità elettrica. Trattandosi di “agevolazioni per la ricarica” vale infine la pena citare l'estrema importanza di una opportuna standardizzazione dei sistemi di ricarica.

La garanzia di una ricarica semplice e universale rappresenta un punto di partenza fondamentale per un vero sviluppo di massa del veicolo elettrico; la definizione e la scelta di opportuni standard tecnici rappresenta l'unica via per ottenerla. Su questo tema i soggetti coinvolti sono molti, sia a livello di comitati tecnici sia di associazioni e istituzioni; una posizione importante è stata recentemente assunta dalla Commissione Europea (si veda il Capitolo 6), che ha fornito una prima, vera indicazione sulla scelta di un connettore unico a livello europeo.

7.4

VALORIZZARE I PREGI DEL VEICOLO ELETTRICO

I vantaggi dell'utilizzo di veicoli elettrici in ambito cittadino sono ben noti: azzeramento delle emissioni dirette di inquinanti e riduzione sensibile del rumore da traffico veicolare. È possibile affermare che tali pregi sono offerti alla collettività da parte di chi ha acquistato un veicolo elettrico, e risulta quindi naturale che, almeno in un primo periodo, tale comportamento virtuoso sia premiato e valorizzato proprio a livello di fruizione dello spazio urbano.

È dunque compito di un'Istituzione lungimirante, tipicamente in questo caso di una Amministrazione Comunale, far sì che un veicolo elettrico possa essere riconosciuto come veicolo “privilegiato”

Promuovere la diffusione della mobilità elettrica

rispetto agli altri, adottando opportune misure in questo senso. In particolare, molti Comuni in Italia permettono ai veicoli elettrici l'ingresso, gratuito e in qualsiasi orario, alle Zone a Traffico Limitato (ZTL), normalmente accessibili solo in alcune ore del giorno e solo ad alcuni tipi di veicoli (trasporto pubblico locale, mezzi di soccorso, forze dell'ordine,...).

Una soluzione di questo tipo, oltre a creare un forte stimolo all'acquisto per gli utenti che si recano di frequente in zone centrali, rappresenta una naturale conseguenza delle peculiarità della trazione elettrica: il veicolo, silenzioso e pulito, è ammesso alle zone di maggior pregio della città, in quanto non vi arrecherà alcun danno. Si inizia, proprio per questo, a sentir parlare dell'opportunità di un passaggio da ZTL a ZTE, Zone a Trasporto Elettrico. Ancora nell'ottica di considerare il veicolo elettrico un mezzo privilegiato, ci si pone in più sedi il problema se lo stesso debba o meno utilizzare le corsie preferenziali presenti in moltissime città italiane, che rappresentano l'altro grande benefit dedicato solo a selezionati tipi di veicoli ed utenti.

È interessante notare, in questo caso, come non vi sia una visione univoca sul tema; in alcune grandi città italiane si identifica infatti nel veicolo elettrico un mezzo privato e tendenzialmente ancora riservato a una classe particolarmente abbiente (visti i costi elevati) e si ritiene che un'apertura delle corsie preferenziali possa rappresentare una ingiusta e diretta lesione alla ben più ampia parte della cittadinanza che utilizza il trasporto pubblico locale.

Al lettore le opportune valutazioni sul tema. Ultima e interessante facilitazione per l'utilizzo dei veicoli elettrici in città è la possibilità di usufruire di parcheggi gratuiti, oltre che ovviamente di parcheggi dedicati nelle zone di ricarica. Anche in questo caso la scelta di garantire o meno questo beneficio ricade perlopiù sull'Amministrazione Comunale, che dovrà stipulare apposite convenzioni con le società di gestione e controllo della sosta. Come per l'esempio precedente, la scelta di permettere la sosta gratuita non è ancora condivisa da tutti i Comuni, e si evidenziano pertanto numerose differenze a seconda della realtà presa in considerazione.

7.5

FACILITAZIONI ECONOMICHE

Le facilitazioni volte a rendere più semplice e anzi vantaggioso l'utilizzo di un veicolo elettrico possono rappresentare un notevole incentivo all'acquisto, ma non modificano sostanzialmente la fascia

dei possibili acquirenti dello stesso, lasciandone il prezzo inalterato. Per incrementare la domanda in maniera più decisa, il primo e più efficace strumento è notoriamente un incentivo economico sull'acquisto, che riduca in modo sensibile il gap economico tra veicolo tradizionale e veicolo elettrico.

In questo gap ridotto, l'acquirente posiziona gli appena descritti vantaggi funzionali e di esercizio dell'elettrico e il confronto può risultare in questo caso più equo. Gli incentivi per l'acquisto di mezzi di trasporto caratterizzati da un basso impatto ambientale, comunemente noti come eco-incentivi, hanno rappresentato una realtà nel nostro Paese per molti anni.

Ad oggi, nonostante la non facile congiuntura economica, un tentativo di questo tipo dedicato ai veicoli a basse emissioni di CO₂ è stato fatto il 26 giugno 2012, con l'entrata in vigore del decreto sviluppo (n. 83/2012), poi convertito, con numerose modifiche, nella legge n. 134 del 7 agosto 2012. All'interno di tale provvedimento sono inserite delle "disposizioni per favorire lo sviluppo della mobilità mediante veicoli a basse emissioni complessive", che stanziavano, per il 2013, un totale di 50 milioni di euro di cui:

- 15 milioni di euro per i veicoli con emissioni minori di 95 gCO₂/km; di questi, una quota non inferiore al 70 per cento è destinata alla sostituzione di veicoli pubblici (o privati ma destinati ad essere utilizzati come beni strumentali) e 5 milioni di euro sono riservati per i veicoli elettrici puri;
- 35 milioni di euro per i veicoli con emissioni minori di 120 gCO₂/km e destinati esclusivamente alla sostituzione di veicoli pubblici, privati per uso di terzi o utilizzati nell'esercizio di imprese, arti e professioni.

Per il 2014 e 2015 sono previste risorse per 45 milioni di euro/anno, le cui modalità di ripartizione saranno ridefinite all'inizio di ciascun anno. La particolare regolamentazione degli incentivi appena descritti, che prevede molti fondi per l'acquisto di auto come beni strumentali ma solo previa rottamazione, ha fatto sì che i risultati dell'intervento non siano stati finora particolarmente incisivi.

Si è assistito, di fatto, ad un rapidissimo esaurimento dei pochi incentivi destinati a privati (senza vincolo di rottamazione), mentre sono rimasti quasi intoccati quelli per imprese e professionisti. Ciò nonostante, il segnale è importante e si prevede che per il 2014 possa essere adottata una struttura più adeguata per favorire un effettivo sviluppo del mercato. A valle di un importante contributo iniziale

Promuovere la diffusione della mobilità elettrica

quale quello appena descritto, i veicoli elettrici possono godere di altri due sgravi economici, se pur di modesta entità.

L'Agenzia delle Entrate ha infatti disposto che i veicoli elettrici siano esentati dal pagamento della tassa automobilistica (generalmente nota come bollo auto) per cinque anni e che dal sesto anno paghino solamente un quarto del tributo dovuto. Su tale decisione possono intervenire le singole Regioni che, come avviene nel caso di Lombardia e Piemonte, possono optare per l'esenzione totale anche dopo il quinto anno.

Inoltre, pur non esistendo ad oggi alcun vincolo legislativo, molte compagnie di assicurazioni offrono uno sconto sulla polizza RC auto nel caso in cui il veicolo abbia una trazione elettrica. Tale sconto era stato imposto pari al 50 per cento dal provvedimento CIP n. 10 del 05/05/93, ma è stato poi rimosso già nel 1994, ed è attualmente a discrezione delle compagnie assicurative.

Parlando di facilitazioni economiche, vale la pena ricordare che queste non devono essere necessariamente indirizzate direttamente all'utente finale. Un significativo sostegno economico è in effetti dedicato anche ai soggetti che investono nella realizzazione dell'infrastruttura di ricarica, in particolare grazie al finanziamento di alcuni progetti pilota portato avanti dalla AEEG.

Tali progetti, avviati nel 2011 e attivi fino al 2015, prevedono l'installazione di diverse centinaia di punti di ricarica in varie città in Italia e vedono coinvolte alcune tra le maggiori utility italiane. Per ogni punto di ricarica installato, l'Autorità riconosce un rimborso pari a 728 euro. Altra incentivazione economica relativa alla realizzazione dell'infrastruttura di ricarica è quella recentemente annunciata dal già più volte citato PNIRE, che stanziava 5 milioni di euro per il 2013 e prevede un cofinanziamento fino al 50 per cento delle spese sostenute per l'acquisto e l'installazione degli impianti, oltre che per le relative campagne di comunicazione agli utenti.

7.6

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.

In virtù di questo, appare sensato che le istituzioni intervengano per far sì che questa prima fase di sviluppo sia alimentata e tenuta viva, attraverso strumenti che possono essere di tipo tecnologico,

economico o funzionale. A fianco delle istituzioni, il lavoro di associazioni e altri enti di diverso tipo risulta basilare, rappresentando un punto di contatto fondamentale tra le diverse anime e i diversi attori coinvolti nel mercato.

Nel voler ribadire l'importanza delle iniziative e degli strumenti contingenti descritti nel corso del presente capitolo, si vuole aggiungere come tra i prossimi compiti delle istituzioni nazionali e internazionali vi sarà anche quello di inquadrare il tema della mobilità elettrica in un ambito di più largo spettro, in cui la rivisitazione del sistema dei trasporti sia affrontata in stretta correlazione con tutto ciò che vi è legato, dalla situazione sanitaria alla tutela del paesaggio e delle ricchezze culturali e artistiche, dalle possibilità di sviluppo economico alla generazione di condizioni di vita trasversalmente migliori per tutta la popolazione.

Conclusioni

I segnali di diffusione delle auto elettriche sono contrastanti, forse anche a causa della crisi in corso in Europa, ma in altre parti del Mondo, come negli Stati Uniti, la vendita delle auto elettriche raddoppia di anno in anno.

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 prima della fine di questo decennio il prezzo di una piccola utilitaria elettrica (batteria di circa 20 kWh e autonomia reale di circa 150 km) potrebbe eguagliare il prezzo dell'omologa con motore a combustione interna.

I capitoli di questa monografia hanno presentato il punto di vista di RSE sui diversi aspetti legati alla diffusione dei veicoli elettrici. Prima di tutto collocando i veicoli elettrici in un giusto contesto, nell'ambito delle esigenze di mobilità delle future città intelligenti (o smart city). Questo ha permesso di identificare le tecnologie di mobilità che più rispondono alle future esigenze e successivamente quali di queste tecnologie di mobilità sono compatibili con un'alimentazione a batteria, in particolare focalizzandosi sulle autovetture.

Al fine di valutare quali sarebbero gli effetti ambientali, economici e sociali della diffusione dei veicoli elettrici, si è costruito uno scenario che considera quanto già previsto per il parco di generazione al 2030 e che riflette una elevata diffusione di veicoli elettrici. Sebbene questo scenario consideri la diffusione di 10 milioni di veicoli elettrici in tutta Italia e quasi il 50 per cento dei veicoli elettrici nelle grandi città, si è potuto estrapolare che l'aumento annuale dei consumi di energia elettrica al 2030 dovuto alla mobilità sarà inferiore al 5 per cento. Verranno ridotte le importazioni di energia primaria per circa 1,8 miliardi di euro e saranno sfruttate al meglio le fonti di energia rinnovabile non programmabili.

I benefici sull'ambiente saranno tangibili sia in termini di riduzione delle emissioni complessive sia di concentrazioni di inquinanti. Anche il confronto del ciclo di vita dei veicoli elettrici con quello degli analoghi veicoli con motore a combustione interna ha evidenziato minori costi ambientali complessivi. Inoltre, si stanno già mettendo a punto le tecnologie per riciclare le batterie, i motori elettrici e le schede elettroniche caratteristiche dei veicoli elettrici, anche valorizzando alcuni elementi quali le terre rare e i metalli preziosi.

A livello di standardizzazione si sta convergendo verso uno standard che permetta alle auto di ricaricarsi ovunque in Europa nelle

modalità più opportune sia in corrente continua sia alternata e a velocità modulabile. È previsto che tutti i punti di ricarica, pubblici (colonnine), condominiali o privati (*wallbox*), siano controllati dai sistemi di gestione delle reti elettriche di distribuzione intelligenti, le smart grid.

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. Per questo motivo tutti i punti di ricarica delle auto elettriche, anche quelli domestici, devono essere connessi alle smart grid.

Bibliografia

- [1] C. Burlando, M. Mastretta, "Il car sharing: un'analisi economica e organizzativa del settore", Franco Angeli Edizioni, 2007
- [2] The European House Ambrosetti, Finmeccanica, "Smart mobility – Muoversi meglio per vivere meglio", 2012
- [3] United Nations, "World Urbanization Prospect", 2012
- [4] United Nations, "Global Report on human settlements 2011 – Cities and climate change", 2012
- [5] Center of Regional Science, Vienna UT et al, "Smart cities, Ranking of European medium-sized cities", Final report, 2007
- [6] Forum PA, "iCity Rate, la classifica delle città intelligenti italiane", 2012
- [7] "Il Patto dei Sindaci" http://www.pattodeisindaci.eu/about/covenant-of-mayors_it.html
- [8] G. Zollino, "La partecipazione italiana al tema Energia del 7° PQ – I bandi Energia 2013", presentazione, giugno 2012
- [9] Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, Decreto Direttoriale 2 marzo 2012 n. 84/Ric. "Avviso per la presentazione di idee progettuali per smart cities and communities and social innovation"
- [10] Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, Decreto Direttoriale 5 luglio 2012 n. 391/Ric. "Avviso per la presentazione di idee progettuali per smart cities and communities and social innovation"
- [11] P. Maran, "Le prospettive della mobilità elettrica in ambito cittadino", presentazione a "Nuove mobilità sostenibili: veicolo elettrico e la sua filiera, una priorità per Francia e Italia", Milano 23 maggio 2012
- [12] F. Casiroli, "Da Macro a Micro. La nuova mobilità", in "City 2.0 Il futuro delle città", 2011
- [13] IBM, "IBM Global Parking Survey: Drivers Share Worldwide Parking Woes", settembre 2011
- [14] G. Toninelli, "Parcheggi intelligenti: l'esperienza di Genova", presentazione presso "Convegno Città Intelligenti, ALDAI", Ottobre 2012, Milano
- [15] C. Carlini, "Tecnologia per le piazzole di carico e scarico – l'esperienza di Bologna", presentazione presso "2° sessione formativa progetto SUGAR", giugno 2011, Bologna
- [16] I. Gianinoni, F. Colzi, "Verso il miglioramento delle emissioni", Elementi n° 27, 2012 – 2013
- [17] ISTAT: "Previsioni della popolazione 2007-2051", 19 giugno 2008, demo.istat.it/uniprev/index.html?lingua=ita
- [18] Electric Power Research Institute, Natural Resources Defense Council, Charles Clark Group: "Environmental assessment of plug-in hybrid electric vehicles", Final Report, luglio 2007, www.epri.com

-
- com
- [19] C. Maccheroni, T. Barugola: "How many households? A comparison of scenarios in the European Union: from Europop2004 to Europop2008", Rivista di Statistica Ufficiale n. 1/2009, www.istat.it/dati/pubbsci/rivista/1_2009/1_2009_03.pdf
- [20] Comune di Milano – Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio: "Indagine sulla mobilità delle persone nell'area milanese", dicembre 2007
- [21] A. Gelmini et al., "Adeguamento ed estensione del modello MATISSE", Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 09004629, febbraio 2010, www.rse-web.it
- [22] G. Migliavacca, A. Formaro, "Guida all'uso dell'interfaccia utente del simulatore MTSIM ed alla metodologia di creazione della base dati", Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 08003692, febbraio 2009, www.rse-web.it
- [23] Commissione Europea, "Relazione sui progressi ottenuti nell'attuazione dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO₂ dei veicoli leggeri", COM(2010) 656, novembre 2010, eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0656:FIN:IT:PDF
- [24] Regolamento (CE) n. 443/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture nuove nell'ambito dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO₂ dei veicoli leggeri, eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0001:0015:IT:PDF
- [25] W. Martinotti, "Recupero di elementi pregiati (terre rare: REE e metalli preziosi: PM) presenti nei Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) – studio preliminare", Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 13000695, 2013, www.rse-web.it
- [26] Girardi P. "Ibridi plug-in e veicoli elettrici: vantaggi e svantaggi secondo un approccio LCA" Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 12001047, 2012, www.rse-web.it
- [27] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G. and Strømman, A. H. (2012), "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles", *Journal of Industrial Ecology*. Doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x
- [28] Duvall M., E. Knipping, Alexander M., Tonachel L., Clark C., 2007, "Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles", Volume 1: Nationwide Greenhouse Gas Emissions. EPRI, Palo Alto, CA: 2007. 1015325
- [29] Hacker F., Harthan R., Matthes F., Zimmer W., 2009,

Bibliografia

- “Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe Critical Review of Literature”, ETC/ACC Technical Paper 2009/4
- [30] De Nigris M., Mauri G. “Impatto della mobilità elettrica sulle reti di distribuzione di bassa e media tensione in presenza di diverse modalità di ricarica e di generazione distribuita”, Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 12001014, 2012, www.rse-web.it
- [31] Anair Don, Mahmassani Amine, 2012, “State of CHARGE Electric Vehicles’ Global Warming Emissions and Fuel-Cost Savings across the United States”, UCS Publications 2 Brattle Square Cambridge, MA 02138-3780
- [32] Notter D.A., Gauch M. Widmer R., Wager P., Stamp A., Zah R., Althaus H., 2010 “Contribution of Li-Ion Batteries to Environmental Impact of Electric Vehicles”, Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 6550-6556
- [33] Benini M., Gelmini A., Gramatica P., Lanati F., Mauri G., “L’impatto degli scenari di diffusione di PEV/PHEV sul sistema energetico nazionale e sulla rete di media e bassa tensione”, Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto RSE 11001070, 2011, www.rse-web.it
- [34] Girardi P. 2012 “Il ciclo di vita del sistema termoelettrico attuale”, VI convegno nazionale della rete Italiana LCA, Bari 6-8 giugno 2012
- [35] JRC 2011, “Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context, based on existing environmental impact assessment models and factors”, Ispra 2011
- [36] Preiss P. (2004), Friedric R., Klotz V., “Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data”, NEEDS project, deliverable 1.1 RS 3a
- [37] Tarrasón, L., 2008, “Documentation and evaluation of the source-receptor calculations made for NEEDS”, Norwegian Meteorological Institute – Research and Development Department – Section Air Pollution, in progress, 2008. NEEDS project, FP6, Rs1b_TP1.2
- [38] Tarrasón, L., 2006, “Source-receptor calculation at the hemispheric level”, Norwegian Meteorological Institute – Research and Development Department – Section Air Pollution, 2006, NEEDS project, FP6, Rs1b_TP1.1
- [39] Yazicioglu B. e Tytgat J., (2011) “Life Cycle Assessments involving Umicore’s Battery Recycling process”, presentazione alla commissione europea, DG Environment – Stakeholder Meeting – 18.07.2011, http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/umicore_pres_18072011.pdf
- [40] EEA, 2012. Air quality in Europe. Report N° 4/2012
- [41] ISPRA, 2012. Qualità dell’ambiente urbano. VIII Rapporto
- [42] ISPRA, 2009. La disaggregazione a livello provinciale dell’inventario

-
- nazionale delle emissioni. Rapporto 92/2009
- [43] Pirovano G., G.M. Riva, A. Toppetti, A. Balzarini, "Il contributo del settore elettrico e del settore trasporti alla qualità dell'aria in Italia", Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto ERSE 10000735, 2010, www.rse-web.it
- [44] EPRI, 2007. Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Volume 2: United States Air Quality Analysis Based on AEO-2006 Assumptions for 2030
- [45] EC, 2010. Critical raw materials for the EU. 84 pp
- [46] Du, X., Graedel, T.E., 2011. Global in-use stocks of the rare earth elements: A first estimate. American Chemical Society. Environ. Sci. Technol., 45:4096-4101
- [47] Oakdene Hollins, 2010. Lanthanide Resources and Alternatives, May 2010, pp. 60
- [48] Kingsnorth, J.D., 2009. The rare earth market: can supply meet demand in 2014?, IMCOA
- [49] Lifton J., 2009, The rare earth crisis of 2009 – Part 1, The Jack Lifton Report, www.jackliftonreport.com
- [50] Molycorp, Inc., 2010 www.molycorp.com
- [51] Zhang, P.; Yokoyama, T., Itabashi, O., Wakui, Y., Suzuki T., Inoue K., 1998, "Hydrometallurgical process for recovery of metal values from spent nickel-metal hydride secondary batteries", Hydrometallurgy, 50:61-74
- [52] Cui, J., Zhang, L., 2008, "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review", Journal of Hazardous Materials, 158:228-256
- [53] Okabe, T. Takeda, O. Fukuda, K. Umetsu, Y., 2003, "Direct extraction and recovery of Neodymium metal from magnet scrap. Material Transaction", 44(4):798-801
- [54] Morais, C.A., Ciminelli, V.S.T., 2004, "Process development for the recovery of high-grade lanthanum by solvent extraction", Hydrometallurgy, 73:237-244
- [55] E. Micolano et al. "Tecnologie abilitanti la diffusione dei veicoli elettrici stradali plug-in: sistemi di accumulo, ricarica e telecomunicazioni", Ricerca di Sistema Elettrico, Rapporto ERSE 10000839, febbraio 2010, www.rse-web.it
- [56] USABC "Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual" www.uscar.org
- [57] RSEview "L'accumulo di energia elettrica" il Melograno editore ISBN 978-1234567897
- [58] C. Bossi, R. Lazzari, E. Micolano "Le batterie ZEBRA e litio-ioni in applicazioni veicolari", AEIT N. 11-2012

Bibliografia

- [59] “Evoluzione normativa relativa alla mobilità elettrica a livello italiano ed europeo” S. Celaschi, Rapporto RSE 12000994 – marzo 2012
- [60] “Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative infrastructure”, European Commission COM(2013) 18/2
- [61] Benini, Lanati, Gelmini, “Impatto sul sistema elettrico nazionale della diffusione di auto elettriche: uno scenario al 2030”, Energia Elettrica n. 2/2011
- [62] Mauri, “Auto Elettrica e Reti Intelligenti”, Energia Elettrica n. 1/2010, Febbraio 2010
- [63] Mauri, “Evoluzione dei veicoli elettrici e impatto sul sistema elettro-energetico nazionale”. Mobilità e trasporto Elettrico per l'Italia di domani, AEIT Roma 12-13 giugno 2012
- [64] 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
- [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
- [66] Cicoria, Celli, Mocci, Pilo, Soma, Mauri, Fasciolo, Fogliata, “Distribution network planning in presence of fast charging stations for EV”, CIRED 2013, 22nd International Conference on Electricity Distribution Stockholm, 10-13 giugno 2013
- [67] 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



RSE SpA - Ricerca sul Sistema Energetico - sviluppa attività di ricerca nel settore elettro-energetico, con particolare riferimento ai progetti strategici nazionali, di interesse pubblico generale, finanziati con il Fondo per la Ricerca di Sistema. Fa parte del Gruppo GSE SpA, interamente a capitale pubblico.

RSE implementa attività congiunte con il sistema della pubblica amministrazione centrale e locale, con il sistema produttivo, nella sua più ampia articolazione, con le associazioni e i raggruppamenti delle piccole e medie imprese e le associazioni dei consumatori.

RSE promuove e favorisce lo sviluppo delle professionalità di domani promuovendo tutte le occasioni di supporto allo svolgimento di attività di formazione e divulgazione legate ai temi di ricerca svolti. L'attività di ricerca e sviluppo è realizzata per l'intera filiera elettro-energetica in un'ottica essenzialmente applicativa e sperimentale, assicurando la prosecuzione coerente delle attività di ricerca in corso e lo sviluppo di nuove iniziative, sia per linee interne sia in risposta a sollecitazioni esterne.

RSE dispone di un capitale umano che rappresenta un patrimonio unico di competenze ed esperienze, la cui difesa e sostegno rappresenta una condizione necessaria per consentire lo sviluppo di politiche di innovazione in un settore di enorme rilevanza per il Sistema Paese come quello energetico.

ISBN 978-88-907527-3-5



9 788890 752735