



## Ricerca di Sistema elettrico

# Studio delle interrelazioni tra il sistema elettrico e quello dei trasporti urbani

*Giancarlo Giuli, Massimo Mancini*

## STUDIO DELLE INTERRELAZIONI TRA IL SISTEMA ELETTRICO E QUELLO DEI TRASPORTI URBANI

Giancarlo Giuli, Massimo Mancini (ENEA)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Obiettivo: V2G: gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA



## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 CONSIDERAZIONI GENERALI .....	7
2.2 DESCRIZIONE DEI DATI CAMPIONE .....	8
2.3 SCELTA DELLE TIPOLOGIE DI VEICOLI ELETTRICI .....	10
2.4 SCELTE OPERATIVE .....	12
2.4.1 <i>Ricarica libera</i> .....	13
2.4.2 <i>Ricarica senza conoscenza della durata della sosta</i> .....	14
2.4.3 <i>Ricarica con conoscenza della durata della sosta</i> .....	15
2.4.4 <i>Ricarica con V2G</i> .....	15
2.5 BATTERIA USATA SOLO PER LA CIRCOLAZIONE DEI VEICOLI .....	16
2.5.1 <i>PHEV10</i> .....	17
2.5.2 <i>PHEV20</i> .....	19
2.5.3 <i>PHEV40</i> .....	22
2.5.4 <i>Sintesi su risultati ottenuti per le 3 tipologie di veicoli</i> .....	24
2.6 BATTERIA USATA PER LA CIRCOLAZIONE DEI VEICOLI E PER IL SERVIZIO V2G .....	26
2.6.1 <i>PHEV10</i> .....	26
2.6.2 <i>PHEV20</i> .....	28
2.6.3 <i>PHEV40</i> .....	29
2.6.4 <i>Sintesi e valutazione della ricarica con servizio V2G</i> .....	31
3 CONCLUSIONI .....	32
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	33
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	34

## Sommario

Nei prossimi anni il settore della mobilità veicolare, per ridurre l'impatto ambientale, sarà interessato da grandi cambiamenti che porteranno ad un graduale passaggio di una consistente parte di veicoli a combustione interna ad altrettanti veicoli elettrici. Ciò avrà come conseguenza la sostituzione di molte stazioni di rifornimento di combustibile con postazioni di ricarica di energia elettrica.

Alla rete elettrica si aggiungeranno quindi nuove richieste di energia che avranno un peso rilevante su quella attualmente fornita e che nel tempo potrebbero raggiungere anche alcune decine di GWh al giorno.

Un grosso impegno sarà quello di gestire correttamente queste nuove richieste di energia elettrica evitando i noti problemi di dispacciamento che si sono presentati da quando la produzione dell'energia rinnovabile ha raggiunto livelli non più trascurabili.

Pertanto potrebbe essere opportuno realizzare un dispositivo che in fase di ricarica del veicolo, quando possibile, possa cercare di richiedere energia alla rete nei momenti ad essa più favorevoli.

I veicoli elettrici attualmente commercializzati possono essere suddivisi in 2 tipi: i BEV, esclusivamente elettrici, e i PHEV che avendo un motore ibrido hanno una duplice alimentazione: elettrica e a combustibile. Se la batteria in dotazione non ha un'elevata capacità, da quanto visto in [ 1], non sempre è possibile convertire il veicolo convenzionale con uno puramente elettrico di tipo BEV, mentre questa conversione è sempre possibile per i veicoli PHEV grazie alla loro duplice alimentazione.

I PHEV, per via della doppia alimentazione, hanno batterie di capacità più modesta dei BEV, e quindi richiedono ricariche più frequenti che spesso saranno fatte nelle ore diurne. Si presume quindi che diverse richieste avverranno in ore in cui la rete è sovraccarica.

La ricarica dei PHEV in genere dura molto meno del tempo di sosta, per via della modesta batteria, e ciò consente una ricarica che può essere ritardata nel tempo per favorire la rete. E' quindi interessante considerare la possibilità di realizzare un dispositivo di ricarica mirato proprio per questa tipologia di veicoli che tra l'altro, sia dalle previsioni future e sia dalle attuali vendite, risultano essere più diffusi dei BEV.

Se a seguito di una non perfetta gestione della ricarica durante la sosta, le batterie risultano poco cariche, il veicolo PHEV non ha nessuna limitazione a circolare, diversamente da un BEV che avrebbe una ridotta autonomia.

Non viene presa in considerazione la ricarica veloce in quanto proprio per questa sua caratteristica si presume che sia una ricarica d'urgenza e quindi non differibile nel tempo.

Inoltre si può valutare per il dispositivo la possibilità di fornire il servizio "vehicle to grid" (V2G) ossia di sfruttare le batterie del veicolo per erogare corrente verso la rete nelle ore di picco per poi ricaricarle nelle ore di scarsa richiesta. Tutto ciò, senza però cambiare le necessità di ricarica del veicolo, necessarie per l'autotrazione in elettrico.

Il lavoro è stato svolto studiando il comportamento dei veicoli sulla base dei dati forniti dalla società Octotelematics spa e rilevati nel comune di Roma.

## 1 Introduzione

Nel miglioramento dei problemi sulla mobilità, ci saranno in futuro grandi cambiamenti determinati sia dal rispetto ambientale e sia dalle case automobilistiche che per consolidare la loro produzione si contenderanno il mercato con modelli dalle migliorate prestazioni e dal minor impatto ambientale puntando molte su veicoli a trazione ibrida o elettrica.

In un paese in crisi economica come l'Italia, questo cambiamento, che certamente avrà ricadute occupazionali, richiederà ingenti investimenti economici. E' evidente che questa trasformazione andrà gestita saggiamente per trarne tutti i benefici possibili e ridurre al minimo gli svantaggi.

Per gestire nel migliore dei modi questo processo occorrerà non ripetere gli errori commessi in passato, in settori che sono stati interessati da simili cambiamenti.

Ad esempio il settore delle energie rinnovabili ha avuto in Italia un forte sviluppo favorito da incentivi eccessivamente generosi in quanto i programmati aumenti della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile saranno raggiunti con largo anticipo rispetto alla scadenza prevista per il 2020.

Infatti da quanto riportato in [ 2] la penetrazione delle rinnovabili a fine 2013 ha raggiunto il 14,5%, su una previsione del 20% alla scadenza del 2020.

L'utilizzo di ingenti incentivi se da una parte ha accelerato i tempi del processo dall'altra ha però avuto come ricaduta negativa un aumento del costo del kWh di percentuali non affatto trascurabili.

Altra conseguenza negativa di questo rapido sviluppo è che molti impianti sono stati realizzati quando i costi erano proibitivi. Attualmente i costi sono scesi di 3 volte e sono destinati a scendere ulteriormente verso la scadenza del 2020.

L'elevato numero degli impianti già installati sicuramente porterà ad un rallentamento dei nuovi impianti da realizzare proprio quando i loro costi saranno diventati più competitivi.

Inoltre ci si è dotati di impianti di prima generazione con prestazioni inferiori a quelli odierni e delle future generazioni.

Quanto detto non è finalizzato a criticare le politiche sullo sviluppo delle rinnovabili ma serve ad indirizzare il paese nelle scelte che occorrerà mettere in campo mediante investimenti atti a condizionare lo sviluppo nel settore della mobilità elettrica.

Certamente il veicolo elettrico (VE) sarà il veicolo del futuro per i suoi diversi pregi tra cui il basso impatto ambientale e l'indipendenza dalla specifica fonte energetica.

Però per arrivare alla completa diffusione del VE, occorreranno grandi cambiamenti tra cui la trasformazione delle numerose pompe di benzina con stazioni di ricarica per le batterie dei VE. Per fare ciò occorreranno notevoli investimenti per un certo numero di anni.

Inoltre i sistemi di ricarica sono in continua evoluzione e si stanno orientando sulla ricarica veloce e su quella wireless. Anche se i loro costi sono in continua discesa rimangono ancora abbastanza elevati [ 3]. Da alcuni recenti studi, per esempio, per 2 adiacenti stazioni di ricarica veloce da 60 kW in DC si stima [ 4] che il costo totale di connessione/installazione può arrivare anche a 67.000 \$ (49.000 €) mentre si valuta [ 5] che per una stazione di ricarica super veloce da 250 kW in DC, in grado di erogare 20 kWh a 288 veicoli al giorno, i costi possono raggiungere i 115.000 €.

Con queste premesse occorrerà essere cauti nella loro rapida diffusione perché si rischia di trovarsi con tecnologie vecchie e pagate anche care.

In questo transitorio un ruolo importante sarà svolto dai veicoli ibridi Plug-in (PHEV) che, senza stretta necessità di colonnine di ricarica, permettono una concreta diffusione dell'elettrico già da oggi partendo dalla ricarica domestica. La diffusione sul territorio delle colonnine di ricarica potrà quindi avvenire con la gradualità necessaria e consentirà ai veicoli elettrici alimentati solo a batteria (BEV) di trovare una buona rete di punti di ricarica aggiungendo successivamente le colonnine di ultima generazione.

Da una media dei diversi scenari considerati, uno studio del JRC di Nemry e Brons [ 6] stima nel 2030 una presenza di veicoli PHEV del 12 % circa, contro un solo 5% di BEV. Invece in ambito italiano un rapporto dell'ERSE, di Riva ed altri [ 7] prevede sempre nello stesso anno che il parco italiano avrà una presenza di PHEV del 17 % e un 7% di BEV.

Una più rapida e ampia diffusione del PHEV, è anche favorita dai costi economici rispetto ai BEV. In una recente pubblicazione di Kockelman [ 8] è stato valutato che un BEV ha in genere un costo maggiore di un PHEV. Un BEV con un AER (All-Electric Range) di 100 miglia ha un costo maggior di produzione di almeno 16.000 \$ (11.700 €) rispetto ad un veicolo convenzionale (Sperling e Lutsey [ 9], Frost e Sullivan [ 10]), mentre per un Phev20 e Phev40 sono stati stimati rispettivamente solo 8.000 \$ (5.900 €) e 11.000 \$ (8.000 €) in più, (Simpson [ 11]).

Anche se attualmente questi costi sono generalmente in calo, questa differenza di 5.000 \$ (3.700 €) in più, rende meno attraente, per i clienti sensibili al costo, l'acquisto di un veicolo puramente elettrico rispetto ad un PHEV. Inoltre questi ultimi essendo alimentati anche da combustibile convenzionale eliminano la così detta "range anxiety".

Sebbene molti governi ora forniscono incentivi sia finanziari e sia di altro tipo, le differenze di costo osservato rimangono elevate. Inoltre, ci sono incertezze di costi di sostituzione della batteria, risparmio energetico e il valore di rivendita. Attualmente, il governo degli Stati Uniti fornisce un rimborso sulle imposte fino a 7.500 \$ (5.500 €) per veicolo (a seconda delle dimensioni della batteria), ed in alcuni casi si possono aggiungere altri incentivi come ad esempio in California si possono ricevere altri 5.000 \$ (3.700 €) dal "Clean Vehicle Rebates Project" [ 8].

La diffusione dei PHEV alleggerisce anche i problemi di rete. Innanzitutto il PHEV non ha la necessità della ricarica veloce, ed in ogni caso se venisse usata è limitata a pochi kWh della sua batteria. Inoltre, diversamente dal BEV, il PHEV può più facilmente ricaricare in differenti orari. Basti pensare che la sua ricarica normale potrebbe durare anche meno di 2 ore e quindi dall'ultima sosta giornaliera al suo riutilizzo del giorno successivo si può tranquillamente scegliere la fascia oraria suggerita dal gestore di rete.

Al contrario, per il BEV è consigliabile ricaricare appena possibile e la ricarica, durando diverse ore, può estendersi a tutto il periodo di sosta, rendendo vana la scelta oraria della fascia. Infine la ricarica veloce, che attenua i problemi del BEV, creerebbe problemi alla rete e per certo aumenterebbe i costi.

Sintetizzando, l'ibrido plug-in favorisce il passaggio dal veicolo termico all'elettrico in modo poco dipendente dalla diffusione delle colonnine, contrariamente al BEV, e generando anche meno problemi alla rete elettrica.

Inoltre da quanto sopra esposto risulta che il PHEV ha tutte le carte in regola perché possa funzionare nella modalità V2G per erogare energia alla rete. Infatti poiché il suo tempo di ricarica è una modesta percentuale del tempo di sosta, ha un'ampia scelta oraria per caricarsi dalla rete, privilegiando i momenti di bassa richiesta e restituendo poi nelle ore di punta l'energia caricata.

Adottando la soluzione V2G, si può correre il rischio di dover usare il veicolo, per una improvvisa necessità, mentre sta erogando corrente in rete. In questo caso, con la batteria non perfettamente carica, il PHEV non presenta particolari problemi di autonomia, diversamente dal BEV che avrebbe invece un'autonomia ridotta.

Pertanto il presente lavoro è finalizzato allo studio per la realizzazione di un dispositivo che possa distribuire correttamente nelle 24 ore l'assorbimento alla rete per la ricarica del veicolo eliminando indesiderati sovraccarichi nelle ore critiche ed a valutare i vantaggi per la rete se si adotta la soluzione V2G.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

L'attività svolta è una ricerca orientata a realizzare un dispositivo che regoli la ricarica della batteria di un veicolo PHEV e a verificare che porti dei vantaggi per il gestore della rete elettrica. Per il dispositivo che si dovrebbe realizzare vengono studiati i due comportamenti: il primo per la sola ricarica del veicolo ed il secondo sia per la ricarica e sia per la fornitura di energia elettrica alla rete (V2G). Nel primo caso, quello della sola ricarica vengono esaminati i comportamenti con e senza la conoscenza della durata della sosta.

### 2.1 Considerazioni generali

Per quanto riguarda i risultati si evita di utilizzare scenari, più o meno attendibili, di trasformazioni dei veicoli a combustione interna (VCI) in VE. Diversamente si ipotizza che il 100% dei veicoli subisca la trasformazione in VE. In questo modo, i risultati ottenuti sono di validità più generale e applicabili a tutti gli scenari ipotizzabili. Ad esempio se uno scenario prevede, per una certa data, la trasformazione di un 15% di VCI in Phev10, basterà considerare questa percentuale sui risultati ottenuti col 100% delle trasformazioni. Per questo motivo i risultati ottenuti sono riportati come valor medio a veicolo in modo tale che il comportamento del singolo veicolo medio può essere più facilmente esteso alla popolazione dello specifico scenario.

## 2.2 Descrizione dei dati campione

Negli ultimi anni la rapida evoluzione delle tecnologie ICT (Information and Communication Technologies) in tutti gli ambiti della società in cui viviamo ha portato alla produzione ed archiviazione di enormi quantità di dati (big data), offrendo nuove opportunità di analisi e conoscenza dei comportamenti individuali e collettivi impensabili fino a pochi anni fa.

In particolare, l'uso sempre più diffuso di tecnologie satellitari GPS (Global Positioning System) ha reso possibile l'acquisizione di grandi quantità di dati spazio-temporali relativi alla mobilità, che possono essere analizzati per comprendere le abitudini sugli spostamenti degli individui durante le loro attività quotidiane. In Italia dal 2002 opera in questo settore OctoTelematics, società specializzata nella fornitura di sistemi e servizi telematici per il mercato assicurativo e automotive, che gestisce la più grande flotta telematica in Europa per numero di unità di bordo installate. Sui veicoli della flotta è installato un dispositivo chiamato Clear Box, una sorta di scatola nera contenente un ricevitore GPS, un accelerometro ed un apparato di trasmissione/ricezione GSM/GPRS per lo scambio di dati fra il dispositivo e la Centrale Multiservizi. Il sistema registra l'inizio e la fine di ogni spostamento ed i dati di posizionamento del veicolo con una frequenza di campionamento variabile (solitamente ogni due chilometri sulla rete stradale ordinaria e ogni 30 secondi sulla rete autostradale).

Per la realizzazione dello studio descritto in questo documento l'ENEA ha acquisito dalla società OctoTelematics i dati grezzi di monitoraggio relativi alla provincia di Roma e per l'intero mese di Maggio 2013. I dati sono stati forniti in un unico file in formato CSV contenente 157.514.383 records relativi ad un numero di 150.633 veicoli monitorati.

Il tracciato record è il seguente:

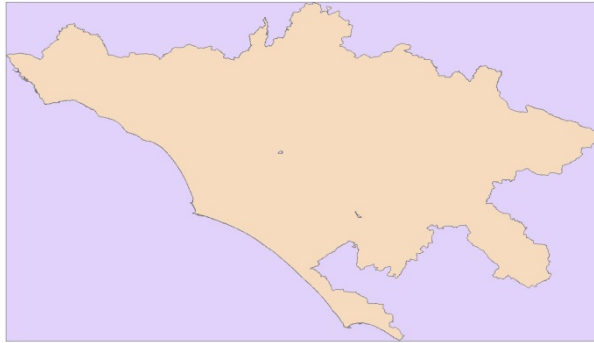
ID_term:	Identificativo univoco del dispositivo
Data Ora:	Timestamp UTC della registrazione (gg-mm-aaaa hh:mm:ss)
Latitudine:	Coordinata geografica nel sistema WGS84 in milionesimi di grado
Longitudine:	Coordinata geografica nel sistema WGS84 in milionesimi di grado
Velocità:	Velocità istantanea in km/h
Direzione:	Direzione di marcia (in gradi 0=Nord, 90=Est, 180=Sud, 270=Ovest)
Qualità:	Qualità del segnale GPS (1=non naviga, 2=2d, 3=3d)
Stato:	Stato (0=partenza, 1=moto, 2=arrivo)
DeltaPos:	Distanza in metri rispetto alla posizione del punto precedente
Strada:	Tipo strada attribuito da OctoTelematics (U=urbana, E=extraurbana, A=autostrada)

L'area monitorata, mostrata in Figura 1, corrisponde al rettangolo che circonda la Provincia di Roma, delimitato dalle coordinate, espresse in gradi sessadecimali nel sistema di riferimento WGS84 :

Latitudine Nord	42.297
Latitudine Sud	41.408
Longitudine Ovest	11.733
Longitudine Est	13.297



Le dimensioni metriche approssimative del rettangolo sono 129 km di larghezza per 98 km di altezza.



**Figura 1 – Rettangolo dell'area monitorata che circonda la provincia di Roma**

Per l'analisi dei dati di monitoraggio è stata messa a punto una metodologia che consiste in diverse fasi di elaborazione. Al termine di ogni fase i risultati ottenuti vengono archiviati in tabelle di un database relazionale, in modo da permettere una facile gestione dell'archivio, l'interrogazione ed estrazione dei dati e l'interfaccia con ambienti software per la visualizzazione delle informazioni, come ad esempio strumenti GIS (Geographical Information System) o programmi per la produzione di grafici.

La prima fase consiste nell'eliminazione delle anomalie dovute alla presenza di terminali guasti. Un secondo controllo consiste nel verificare la corretta successione dei valori dell'attributo Stato che deve iniziare con 0 (partenza) e finire con 2 (arrivo). In molti casi, soprattutto all'inizio di un viaggio, il dispositivo GPS impiega un considerevole lasso di tempo prima di poter calcolare la posizione corrente. Analogamente, all'arrivo possono esserci problemi dovuti al fatto che il parcheggio avviene all'interno di un garage.

Dopo la fase di ripulitura dei dati grezzi, al termine della quale sono rimasti 148.287 terminali per un totale di 146.870.292 registrazioni GPS, le singole posizioni vanno aggregate per ricavare le informazioni sui singoli viaggi e le soste tra un viaggio ed il successivo.

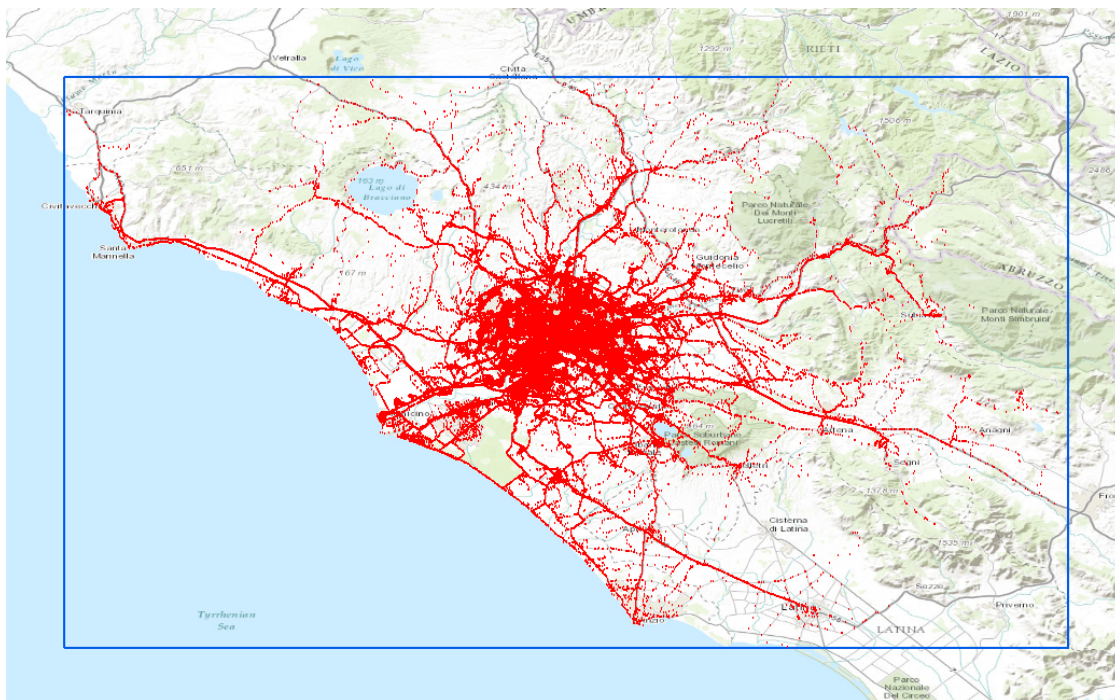
Per ogni viaggio così individuato vengono memorizzate le seguenti informazioni:

- Id viaggio
- Id terminale
- Data Ora partenza
- Posizione partenza
- Data Ora arrivo
- Posizione arrivo
- Distanza percorsa
- Durata viaggio
- Durata sosta all'arrivo

Il passo successivo è stato l'individuazione dei luoghi di residenza relativi a ciascun veicolo. Analizzando le soste notturne ricorrenti e mediante tecniche di clustering è stata ricavata, con un certo grado di approssimazione, la località di residenza.

Di tutti i veicoli presenti nel database così ottenuto si è pensato di selezionare un campione possibilmente omogeneo, individuando i veicoli che sono residenti all'interno del GRA (Grande Raccordo Anulare) e che non sconfinano mai, nel corso del mese, al di fuori dell'area rettangolare che circonda la provincia di Roma. Il campione così selezionato è quello che verrà usato in seguito ed è costituito da 16.615 veicoli, che hanno spostamenti con informazioni complete per tutto il mese di Maggio 2013.

In Figura 2 sono rappresentati i dati di tutte le posizioni GPS registrate per il giorno mercoledì 15 Maggio 2013, per i soli veicoli del campione selezionato.



**Figura 2 – Il riquadro azzurro delimita l’area monitorata mentre i punti in rosso rappresentano tutte le posizioni registrate il giorno 15.5.2013, per i veicoli del campione selezionato.**

### 2.3 Scelta delle tipologie di veicoli elettrici

Da qualche anno la gran parte delle industrie automobilistiche per ridurre l’impatto ambientale dei mezzi di trasporto hanno puntato sul veicolo elettrico BEV mentre solo alcuni costruttori hanno puntato sul veicolo ibrido HEV. Il mercato delle vendite, in presenza di queste novità, ha mostrato un certo interesse per i veicoli ibridi mentre è stato piuttosto cauto sui veicoli BEV. Il motivo di queste perplessità non è solo legata all’elevato costo dei BEV, ma anche alla loro modesta autonomia congiuntamente ad una poco estesa rete di ricarica che ne limitava l’utilizzo fuori città.

Successivamente per venire incontro a questi problemi e anche grazie al successo dell’ibrido alcune case hanno iniziato a commercializzare anche modelli PHEV. Questi fornendo una modesta percorrenza in solo elettrico, usualmente da 10 a 60 miglia, risolvono però il problema dell’autonomia e della ricarica. In generale questi modelli hanno un costo che in generale è lievemente inferiore a quello dei BEV .

I PHEV essendo stati introdotti successivamente ai BEV stanno avendo un discreto successo, come mostra la scheda in Figura 3, relativa alle vendite dei 6 modelli più venduti fino al marzo 2014 [ 14]. Come si vede dalla scheda i modelli sono tutti molto recenti.

Per avere un’idea di quanto i veicoli elettrici si stiano diffondendo si può segnalare che negli Stati Uniti, il paese con il maggior numero di VE, dal 2008 sono stati venduti circa 170.000 PEV [ 15] le cui vendite annuali dal 2011 al 2013 sono state rispettivamente di 17.800 [ 16], più di 53.000 [ 17], e circa 96.600 [ 18]. Suddividendo queste vendite in PHEV e BEV si riscontra che le prime, negli ultimi 3 anni, hanno raggiunto le 95.589 unità contro le 72.028 unità dei BEV.

Questo significa che nei prossimi anni questi veicoli cominceranno ad avere un peso significativo sull’assorbimento dell’energia elettrica.

Plug-in hybrid global sales and top markets by country or region between December 2008 and March 2014					
Model/ All-electric range	Market launch	Global sales	Top selling markets		
			Country	Sales	Comment
<a href="#">Chevrolet Volt/ Opel Ampera/ Vauxhall Ampera</a>  35 mi (56 km)	December 2010	Over 71,100	 <a href="#">US</a>	58,158	Chevrolet Volts
			 <a href="#">Netherlands</a>	5,994	4,936 Amperas and 1,058
			 <a href="#">Canada</a>	2,700	Chevrolet Volts
			 <a href="#">Germany</a>	1,504	1,431 Amperas and 73 Volts
			 <a href="#">UK</a>	699	609 Amperas and 90 Volts through June 2013
			 <a href="#">Switzerland</a>	571	367 Amperas and 204 Volts
			 <a href="#">France</a>	418	361 Amperas and 57 Volts
			 <a href="#">Belgium</a>	245	205 Amperas and 40
			 <a href="#">Norway</a>	242	229 Amperas and 1 Volt
			 <a href="#">Austria</a>	238	219 Amperas and 19 Volts through March 2013
			 <a href="#">Australia</a>	181	Holden Volts through December 2013
 <a href="#">Sweden</a>	158	118 Amperas and 40 Volts			
<a href="#">Toyota Prius PHV</a>  11 mi (18 km)	January 2012	Over 52,000	 <a href="#">US</a>	28,134	
			 <a href="#">Japan</a>	15,400	Sales through December 2013
			 <a href="#">Netherlands</a>	3,908	
			 <a href="#">UK</a>	979	Sales through December 2013
			 <a href="#">Sweden</a>	961	
			 <a href="#">France</a>	833	
			 <a href="#">Norway</a>	343	
			 <a href="#">Canada</a>	296	
			 <a href="#">Finland</a>	118	Sales through December 2013
			 <a href="#">Spain</a>	114	
<a href="#">Mitsubishi Outlander P-HEV</a>  60 km (37 mi)	January 2013	Over 23,500	 <a href="#">Japan</a>	13,272	
			 <a href="#">Netherlands</a>	9,419	
			 <a href="#">Norway</a>	439	
			 <a href="#">Sweden</a>	344	
			 <a href="#">Germany</a>	17	
<a href="#">Ford C-Max Energi</a>  21 mi (34 km)	October 2012	11,360	 <a href="#">US</a>	11,161	
			 <a href="#">Canada</a>	199	Sales through December 2013
<a href="#">Volvo V60 Plug-in Hybrid</a>  50 km (31 mi)	November 2012	About 9,300	 <a href="#">Netherlands</a>	7,475	
			 <a href="#">Sweden</a>	764	
			 <a href="#">France</a>	293	
			 <a href="#">Belgium</a>	209	
			 <a href="#">Germany</a>	189	
			 <a href="#">Italy</a>	145	
			 <a href="#">Norway</a>	105	
			 <a href="#">Finland</a>	66	Sales through December 2013
 <a href="#">Austria</a>	45				
<a href="#">Ford Fusion Energi</a>  21 mi (34 km)	February 2013	8,416	 <a href="#">US</a>	8,300	
			 <a href="#">Canada</a>	116	Sales through December 2013

Fonte [ 14]




Figura 3 – Elenco dei 6 modelli Phev più venduti fino al marzo 2014

Per la presente attività si sono considerati i comportamenti di veicoli PHEV con 3 diverse autonomie in elettrico pari a 10, 20 e 40 miglia. Quindi ognuna delle 3 categorie è rappresentata da un modello tra i più diffusi sul mercato secondo quanto riportato da X. Wu ed altri [ 13].

Quindi i Phev10 sono rappresentati dalla Toyota Prius, i Phev20 dalla Ford Fusion Energy ed infine i Phev40 dalla Chevrolet-Volt, venduta anche con il marchio Opel Ampera.

Le caratteristiche di questi veicoli, sono sintetizzate in Tab. 1.

**Tab. 1 – Caratteristiche dei veicoli PHEV considerati**

		PHEV-10	PHEV-20	PHEV-40
		Toyota Prius	Ford Fusion Energy	Chevrolet Volt
				
Capacità batteria	kWh	4,4	7,6	16
AER <sup>1</sup>	Miglia (km)	11 (17,7)	21 (33,8)	38 (61,2)
Consumo CD <sup>2</sup>	Wh/miglia (Wh/km)	288 (179)	337 (210)	342 (212)
Consumo CS <sup>3</sup>	gallone/miglia (litri/km)	0,0197 (0,0464)	0,0230 (0,0541)	0,0288 (0,0678)

<sup>1</sup> Autonomia in solo elettrico

<sup>2</sup> Consumo in modalità puramente elettrica

<sup>3</sup> Consumo utilizzando il motore a combustione

Sempre nel rapporto di X. Wu ed altri si precisa che senza sussidi il Phev10 è più conveniente del Phev40 per via dei minori costi della batteria.

## 2.4 Scelte operative

Prossimamente, quando i VE avranno raggiunto una maggior diffusione, i nuovi carichi elettrici introdotti sulla rete, per la loro ricarica, rischieranno di aumentare il divario tra il carico delle ore di punta e quello della fascia notturna. Con la presente attività si cerca superare il problema cercando di avere una ricarica che favorisca il livellamento, per quanto possibile, della curva delle richieste che la rete deve soddisfare, come peraltro suggerito da altri autori [ 19].

Piuttosto che considerare la fascia bioraria basata sul costo del kWh, si analizzano le curve dei consumi riportate in Figura 4. Queste curve realizzate con dati resi disponibili da Terna [ 20], rappresentano i consumi, di ogni terzo mercoledì del mese, per l’anno 2013. Si può mediamente definire come fascia alta dei consumi l’intervallo che va dalla 8 alle 22, mentre il rimanente intervallo dalle 22 alle 8 si indicherà come fascia bassa.

Per ragioni pratiche, legate alla ricarica dei veicoli, si anticipa alle 7,40 l’inizio della fascia alta. Questa scelta è motivata dal fatto che un non trascurabile numero di veicoli comincia a spostarsi già dalle prime ore della mattina. Di questi, diversi si fermano prima delle 8,00 ed essendo ancora in fascia bassa e con la batteria parzialmente scarica tenderanno a ricaricarsi, anche se per poco tempo. Quindi proprio nei pochi minuti antecedenti alle 8,00 si avrà una concentrazione di ricariche che genera un anomalo picco di richieste sulla rete.

Quindi la suddivisione adottata tra fascia di alto e basso consumo è quella riportata in Figura 5.

Su queste basi si analizzano i seguenti tipi di ricarica:

- Libera
- Senza conoscenza della durata sosta

- Con conoscenza della durata sosta
- Con modalità V2G

che verranno illustrati più completamente in seguito.

Si anticipa che la conoscenza della durata sosta è molto utile per ridurre al minimo la ricarica in fascia alta. Infatti solo in queste condizioni è possibile garantire la ricarica necessaria sfruttando al massimo le ore di sosta in fascia bassa e riducendo quelle in fascia alta al minimo necessario per completare la ricarica.

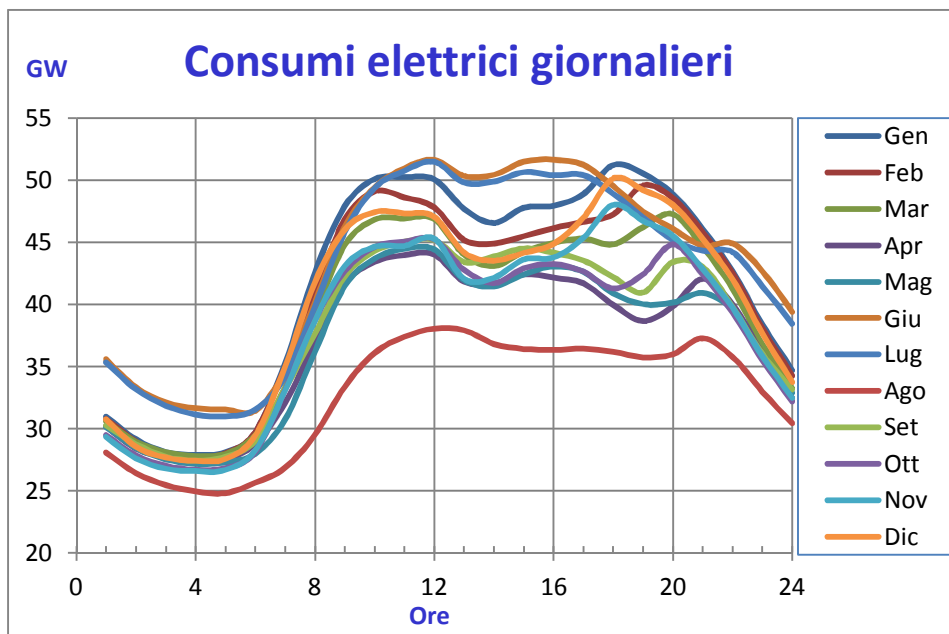


Figura 4 – Andamento dei consumi elettrici rilevato ogni terzo mercoledì del mese relativo al 2013.



Figura 5 – Suddivisione dei consumi in fascia alta e bassa

Sia per la ricarica della batteria e sia per la fornitura di energia elettrica si è considerata la potenza lorda massima di 3 kW alla rete. Questa potenza è però raramente usata perché per distribuire meglio la carica vengono usate prevalentemente potenze inferiori. Le perdite del processo sia di carica che di scarica sono state fissate al 15% avendo tenuto conto anche del processo di conversione dell'energia e del fatto che i dispositivi usati non sempre lavorano al meglio delle prestazioni dichiarate. La potenza di ricarica scelta è quella normalmente disponibile nell'impianto di casa e anche sul posto di lavoro. Inoltre questa potenza di ricarica non sollecita eccessivamente la batteria.

#### 2.4.1 Ricarica libera

La ricarica libera è quella che inizia sempre appena il veicolo si ferma, purché la sosta sia di durata almeno superiore ad un'ora. Con questa ricarica, indicata come Modalità 1, il veicolo ricarica le batterie sempre al massimo delle possibilità. In questo modo però spesso la ricarica avviene di giorno perché è proprio dopo il

suo utilizzo che la batteria viene ricaricata. Per rendere evidente quanto detto, si riporta in Figura 6 l'andamento della potenza richiesta alla rete se i veicoli considerati sono di tipo phev10. Il grafico riporta una doppia ordinata: a destra (valore assoluto) è possibile leggere la potenza richiesta dai veicoli del campione, a sinistra (valore normalizzato a veicolo) è possibile leggere la potenza media a veicolo.



Figura 6 – Andamento della potenza richiesta alla rete per i veicoli (Phev10). Nelle scale delle ordinate a sx i valori sono riportati in valore normalizzato a veicolo, a dx in valore assoluto.

La lettura sull'ordinata di sinistra non deve trarre in inganno nel senso che un veicolo si può ricaricare anche con potenze di 3 kW, ma il valore letto rappresenta il comportamento medio di tutti i veicoli in quell'istante. Diversamente l'area della curva rappresenta il consumo giornaliero medio per veicolo, che nel caso di figura è 3,8 kWh e che rappresenta un valore molto buono.

Infatti tenendo conto, come riportato in [ 1], che normalmente un terzo dei veicoli non circola durante il giorno significa che il rimanente 70% dei veicoli circolanti mediamente si ricarica di 5,4 kWh (3,8/0,7) che rappresenta un valore molto maggior della batteria da 4,4 kWh del phev10 considerato. Ciò è possibile in quanto si hanno più ricariche durante il giorno.

#### 2.4.2 Ricarica senza conoscenza della durata della sosta

Se si vuole evitare la ricarica immediata (o libera) e quindi posticiparla, sarebbe conveniente conoscere la durata sosta, per gestire al meglio le ricariche in fascia bassa.

In assenza di questa informazione si può procedere ugualmente, e con risultati che in alcuni casi sono anche accettabili. Va chiarito comunque che in questi caso si finisce sempre per ricaricare la batteria un po' meno del consentito, riducendo quindi la percentuale di km percorsi in modalità elettrica.

Per questa soluzione sono previste due modalità:

- Ricarica solo in fascia bassa (Modalità 2)
- Ricarica garantita al 60% (Modalità 3)

Nella prima il veicolo viene ricaricato solo nella fascia bassa. In questo caso si ha una sensibile riduzione della percorrenza in elettrico che risulta modesta solo per il phev40.

Nel secondo caso, in modalità 3, la ricarica è fatta immediatamente ma solo fino al raggiungimento del 60% della capacità della batteria. Raggiunto questo livello, se si è in fascia bassa si continua la ricarica, diversamente, per completarla, si attende l'inizio della fascia bassa. In questo caso la riduzione della percorrenza elettrica è di modesta entità.

Si fa presente che durante la ricarica in fascia bassa si hanno 2 inconvenienti: un elevato assorbimento di energia ad inizio fascia ed un assorbimento quasi nullo nella seconda metà della fascia.

L'inconveniente è stato superato ritardando la ricarica, in modo random, ed utilizzando una potenza di ricarica inferiore a quella di 3 kW che consente di allungare il tempo di ricarica.

Per fare ciò si è calcolata la differenza  $\Delta t$  tra la durata della fascia bassa ed il tempo di ricarica necessario per ultimare la carica. Un quarto di questo  $\Delta t$  viene utilizzato per ritardare la carica, in modo random, mentre i rimanenti tre quarti vengono utilizzati per allungare l'intervallo di ricarica a potenza ridotta.

### 2.4.3 Ricarica con conoscenza della durata della sosta

In questo caso, la conoscenza della durata sosta permette, alle ricariche, di sfruttare il più possibile le ore della sosta, che avvengono in fascia bassa. Ciò consente di ottenere le stesse prestazioni della ricarica libera assicurando identiche percorrenze in elettrico.

Anche per questa soluzione sono previste due modalità:

- Ricarica garantita al 100% (Modalità 4)
- Ricarica garantita al 75% (Modalità 5)

Nella prima, il veicolo viene ricaricato esattamente come nella ricarica libera ma la conoscenza della durata sosta permette di trasferire dalla fascia alta, alla fascia bassa, la quota parte di ricarica possibile senza che essa venga ridotta. Ossia, rispetto alla ricarica libera viene solo posticipata una parte, o tutta, la ricarica. Pertanto, rispetto alla ricarica libera si ha un miglioramento del profilo temporale delle richieste di energia dalla rete. In questo caso si riduce l'energia richiesta in fascia alta, diventando circa uguale a quella richiesta in fascia bassa.

Nella modalità 5 per ricarica garantita al 75% si intende che questa condizione è applicata solo se la sosta avviene in fascia alta, diversamente per soste in fascia bassa la ricarica è totale. Dai risultati ottenuti si riscontra che questa scelta riduce la richiesta di energia in fascia alta al solo 20% o al 35%. Questo evidente vantaggio si paga con una modesta riduzione della percorrenza elettrica sempre inferiore del 5%.

Anche qui la ricarica in fascia bassa presenta il problema di elevata richiesta di carica ad inizio fascia ed è stato affrontato in modo simile a quanto esposto al precedente § 2.4.2.

In pratica per ogni sosta si calcolano: il tempo necessario ( $T_{nec}$ ) per la carica alla potenza massima e il tempo disponibile ( $T_{disp}$ ) che coincide con la durata sosta.

Nei casi in cui:  $T_{disp} > T_{nec}$  si calcola il tempo extra di cui si dispone:  $T_{ex} = T_{disp} - T_{nec}$ .

Il tempo extra viene diviso per 4 ricavando:  $\Delta T = T_{ex}/4$ . Quindi il tempo di carica si fissa a:  $T_{nec} + 3\Delta T$ , e di conseguenza la potenza di carica si riduce da  $P_{max}$  a  $\frac{P_{max} \cdot T_{nec}}{T_{nec} + 3\Delta T}$ . La carica inizia con un tempo di ritardo  $T_{ritardo}$  che va, in modo random, da 0 a  $\Delta T$

### 2.4.4 Ricarica con V2G

In questa modalità si prevede che il veicolo a fine sosta venga sempre ricaricato allo stesso livello della ricarica libera garantendo quindi la massima percorrenza in elettrico. Per questo motivo è richiesta la conoscenza della durata sosta.

La conoscenza della durata sosta permette di sfruttare quelle di lunga durata consentendo al veicolo di ricaricarsi prelevando energia in fascia bassa e restituendola successivamente in fascia alta ma solo se ci sono le condizioni, e quindi senza penalizzare la percorrenza in modalità elettrica.

Questo servizio si paga però con le perdite di energia da e verso la rete per la ricarica-scarica della batteria. La potenza che viene restituita alla rete, nelle ore della fascia alta, è molto influenzata dalle soste lunghe che si concentrano nel tardo pomeriggio creando, proprio in quelle ore, un elevato picco di potenza per l'energia restituita. Infatti, essendo negli ultimi istanti della fascia alta, la residua carica della batteria può essere restituita alla rete perché dopo poco tempo potrà iniziare la ricarica essendo prossimi alla fascia bassa.

Un problema analogo, ma più modesto, si presenta anche nelle prime ore della fascia alta, mentre al contrario, nelle ore intermedie si ha una ridotta restituzione di energia.

Un primo miglioramento di questo profilo è quello di restituire la carica della batteria con potenze inferiori alla massima allungando così i tempi di scarica. Però ciò non è sufficiente e per migliorare ulteriormente questo profilo si sono utilizzate, per le soste della mattina e quelle del pomeriggio, due differenti modalità di restituzione dell'energia.

Per ogni sosta si calcolano: il tempo necessario ( $T_{nec}$ ) per la scarica alla potenza massima e il tempo disponibile ( $T_{disp}$ ) pari alla durata sosta. Anche qui, nei casi in cui:  $T_{disp} > T_{nec}$  si calcola il tempo extra a disposizione:  $T_{ex} = T_{disp} - T_{nec}$ .

Se la sosta inizia dalle 8,30 alle 13,30 il tempo extra viene diviso per 6 ricavando  $\Delta T = T_{ex}/6$ .

La scarica verso la rete parte dall'inizio sosta con un tempo di ritardo  $T_{ritardo}$  che va, in modo random da 0 a  $\Delta T$ . La durata della scarica è fissata pari a:  $T_{nec} + 6\Delta T - T_{ritardo} * 6/2$  e quindi la potenza di scarica

invece di  $P_{max}$  risulta uguale a:  $\frac{P_{max} * T_{nec}}{T_{nec} + 6\Delta T - T_{ritardo} * 6/2}$ .

Negli altri casi il tempo extra viene diviso per 8 ricavando:  $\Delta T = T_{ex}/8$ . Quindi si fissa il tempo di scarica pari a:  $T_{nec} + 3\Delta T$ , e conseguentemente la potenza di scarica si riduce da  $P_{max}$  a  $\frac{P_{max} * T_{nec}}{T_{nec} + 3\Delta T}$ . La scarica inizia appena il veicolo viene lasciato in sosta.

### 2.5 Batteria usata solo per la circolazione dei veicoli

In questo paragrafo verrà analizzato il comportamento della batteria utilizzata esclusivamente per la circolazione dei veicoli mentre l'utilizzo della batteria per fornire anche energia alla rete (V2G) sarà analizzata nel paragrafo successivo.

I dati di seguito esposti sono sempre riferiti ad uno stesso giorno lavorativo che è il mercoledì 15 maggio 2013. Il comportamento dei veicoli campione considerati, per il giorno scelto è riportato dalla curva nera di Figura 7 dove è mostrato il numero dei veicoli circolanti, nelle diverse ore giornaliere. Le ordinate sono riportate in duplice scala: a destra in valore assoluto e a sinistra in valore normalizzato al numero dei veicoli del campione.

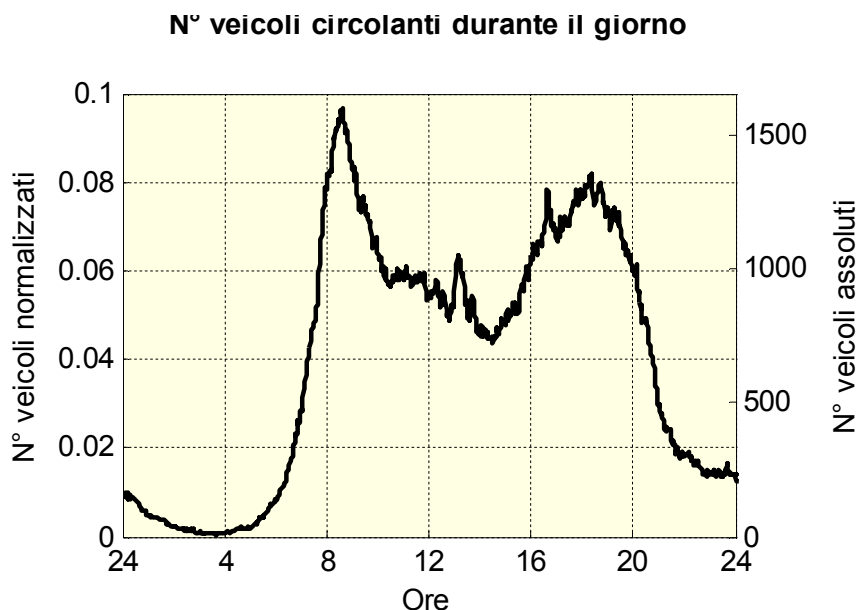


Figura 7 – Presenze dei veicoli del campione di riferimento nella giornata di mercoledì 15 maggio. A dx è riportata la scala con i valori assoluti e a sx con valori normalizzati a veicolo. La scala di sx rappresenta anche la probabilità che il veicolo sia in circolazione.



La scala normalizzata ha il grande vantaggio di essere indipendente dalle dimensioni del campione usato. La conoscenza del numero dei veicoli circolanti, in un determinato istante, può essere ricavata direttamente sulla scala di destra oppure leggendo il valore sulla scala normalizzata e moltiplicandolo per il numero dei veicoli del campione.

Il valore letto sulla scala normalizzata può anche essere interpretato come la probabilità che hanno i veicoli campione di essere in circolazione ad un certo orario.

Vengono considerati i 5 differenti modelli di ricarica precedentemente descritti.

I risultati senza, o con, conoscenza della durata sosta saranno mostrati separatamente ma saranno sempre messi a confronto con quelli della ricarica libera

### 2.5.1 PHEV10

In questo paragrafo si ipotizza di sostituire tutti i veicoli campione considerati con veicoli Phev10 con caratteristiche uguali a quelle della Toyota Prius plug-in, riportate in Tab. 1.

La percorrenza elettrica, ottenuta con la ricarica libera, raggiunge il 77,5 % di quella totale, come mostrato in Tab. 2. Tali valori sono però ottenuti con un'elevata ricarica in fascia alta pari al 84,4% perché il veicolo, tende a ripristinare la batteria, immediatamente dopo il suo utilizzo, e ciò avviene prevalentemente durante il giorno come si può dedurre osservando la Figura 8.

Il modello 2 con ricarica in sola fascia bassa, ossia notturna, è quello che privilegia maggiormente la rete ma ciò si paga con una apprezzabile riduzione della percorrenza elettrica che scende di un ulteriore 21% rispetto a quella del primo modello. Si evidenzia tuttavia che con ricarica solo notturna la percorrenza elettrica raggiunge il 56,6 %, come si vede in Tab. 2. Tale valore è comunque di tutto rispetto considerando che in pratica si ottiene con la sola ricarica domestica e con una modesta batteria da 4,4 kwh, come quella in dotazione alla Prius.

**Tab. 2 – Si riportano, per tipo di ricarica eseguita su un veicolo Phev10: la percentuale di percorrenza elettrica ottenuta e quelle dell' energia caricata in fascia alta, la percorrenza elettrica mensile di tutti i veicoli e quella media per veicolo, l'energia scaricata da rete per tutti i veicoli e quella media per veicolo.**

Pehv10 – Toyota Prius							
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia Caricata in fascia alta [%]	Percor. Electr. Mensile		Energia scaricata da rete nel mese	
				Tutti i veic. [km] x 10 <sup>6</sup>	Media a veic. [km]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	77,5	84,4	9,37	564	1.980	119
<i>Senza conoscenza dell'ora di fine sosta</i>							
2	Solo fascia bassa	56,6	0,0	6,84	412	1.447	87
3	Ric. Garant.: 60%	71,2	50,2	8,61	518	1.818	109
<i>Con conoscenza dell'ora di fine sosta</i>							
4	Ric. Garant.: 100%	77,5	51,1	9,37	564	1.980	119
5	Ric. Garant.: 75%	73,8	35,6	8,93	537	1.886	113

Il modello 3, con ricarica garantita al 60%, migliora la distribuzione di energia richiesta per la ricarica. Dalla Tab. 2 e dalla Figura 8, si vede che solo il 50% della ricarica avviene in fascia alta e la percorrenza elettrica si riduce solo di un modesto 6% .

Passando ai 2 casi in cui è considerata la conoscenza della durata sosta si riportano in Figura 9 i relativi andamenti delle potenze richieste per le ricariche oltre a quello della ricarica libera.

Il modello 4 (curva magenta), con ricarica garantita al 100% presenta la stessa percorrenza elettrica della ricarica libera con il vantaggio di una migliore distribuzione di ricarica, come si vede in Figura 9. Infatti, solo per il 51 % della ricarica avviene in fascia alta, contro l' 84% della ricarica libera.

Nel caso del modello 5 la ricarica in fascia alta scende intorno al 35% con una modesta riduzione della percorrenza elettrica inferiore al 4%.

Infine in Figura 10, per il giorno lavorativo considerato, si riporta l'andamento delle percorrenze di tutti i veicoli, rappresentata dalla curva nera. Sempre nello stesso grafico sono riportati per confronto le percorrenze in solo elettrico ottenute con i diversi modelli di ricarica considerati. Le ordinate sono riportate in duplice scala: a destra il valore assoluto dei km/ora percorsi da tutti i veicoli, e a sinistra lo stesso valore normalizzato rispetto al numero dei veicoli del campione.

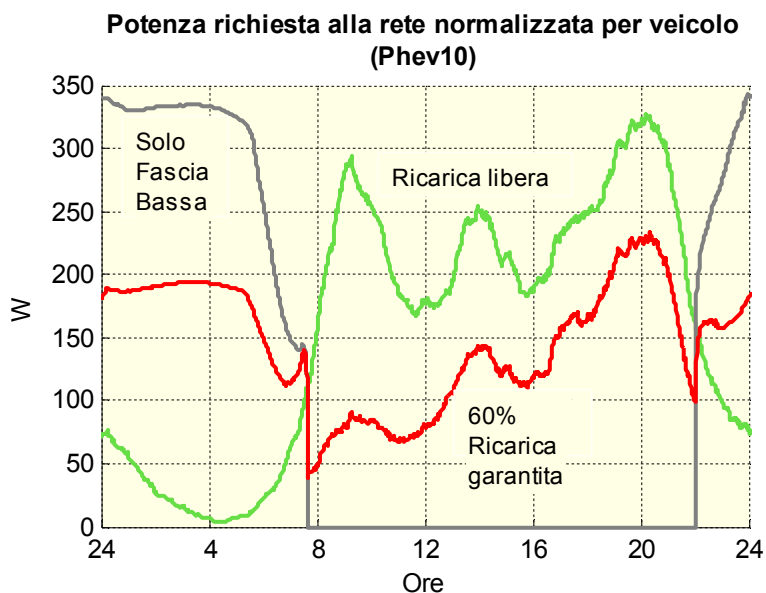


Figura 8 – Potenza richiesta alla rete normalizzata per veicolo (Phev10). In verde l'andamento della ricarica libera. Andamenti, senza conoscere la durata sosta, in sola fascia bassa (grigio), e con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 60% di ricarica (rosso).

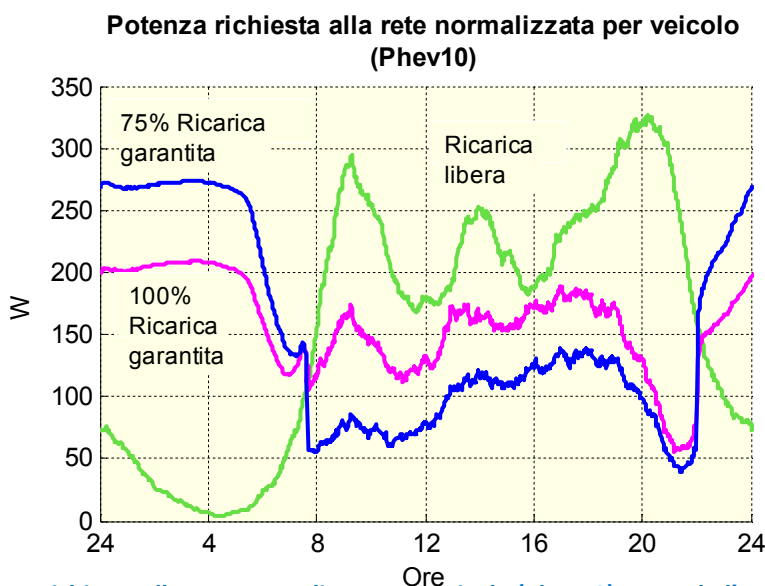
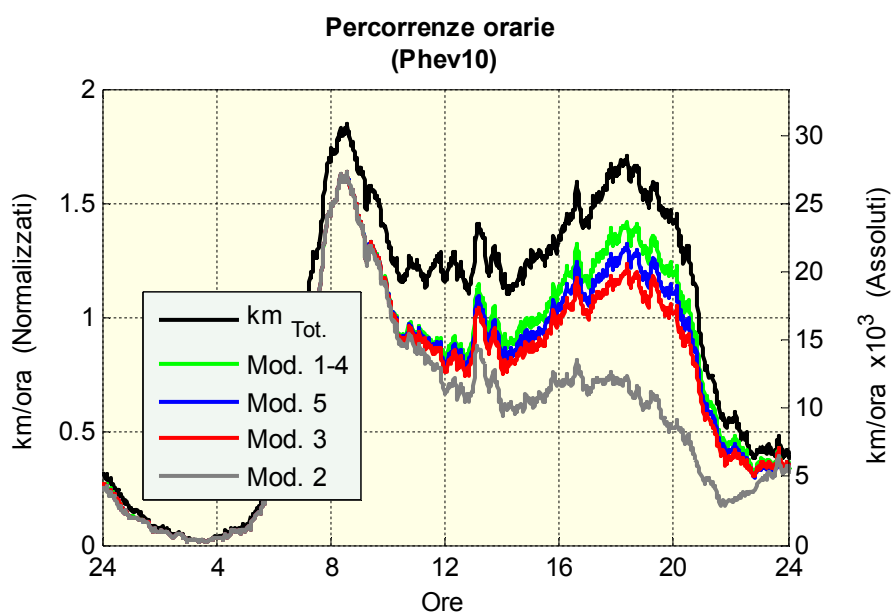


Figura 9 – Potenza richiesta alla rete normalizzata per veicolo (Phev10). In verde l'andamento della ricarica libera. Andamenti, con conoscenza della durata sosta, con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 100% di ricarica (magenta) e il 75% (blu).

Il valore letto sulla scala normalizzata rappresenta i km/ora che mediamente il veicolo percorre. Ad esempio il valore massimo di 1,8 km/ora letto alle 8,30 va interpretato sapendo che a quell'ora sta circolando solo il 9% dei veicoli (vedi Figura 7) mentre il 91% dei veicoli è in sosta. Pertanto 1,8 km/ora riferito ai soli veicoli circolanti diventa 20 km/ora (da:  $1,8 / 9\%$ ) che è una percorrenza tipica delle città nelle ore di punta.

La percorrenza con ricarica libera (Mod. 1) e quella garantita al 100% (Mod. 4) sono equivalenti. La ricarica in sola fascia bassa (Mod. 2) è quello che presenta la minor percorrenza elettrica mentre i rimanenti 2 modelli hanno percorrenze leggermente inferiori al modello con ricarica libera.



**Figura 10 – La curva nera rappresenta la percorrenza oraria di tutti i veicoli del campione di riferimento. Le altre curve rappresentano la percorrenza in solo elettrico in base al modello di ricarica adottato con veicoli Phev10. A dx è riportata la scala con i valori assoluti e a sx con valori normalizzati a veicolo.**

### 2.5.2 PHEV20

Per l'analisi sui Phev20 si suppone di sostituire tutti i veicoli campione considerati con veicoli con caratteristiche uguali a quelle della Ford Fusion Energy plug-in, riportate in Tab. 1.

In questo caso la percorrenza elettrica, ottenuta con la ricarica libera è più elevata e raggiunge l' 86,2 % di quella totale, come mostrato in Tab. 3. Questi valori sono però sempre ottenuti con un'elevata ricarica in fascia alta pari al 82,4%.

Il modello 2 con ricarica in sola fascia bassa, quello che privilegia maggiormente la rete, si paga con una ulteriore riduzione del 17,2% della percorrenza elettrica rispetto a quella del primo modello.

Si evidenzia che ora con ricarica solo notturna la percorrenza elettrica raggiunge il 69 %, come si vede in Tab. 3. Tale valore è sensibilmente maggiore del 56 % ottenuto con la Prius e ciò grazie alla batteria da 7,6 kWh in dotazione alla Ford Fusion Energy.

Il modello 3, con ricarica garantita al 60%, migliora la distribuzione di energia richiesta per la ricarica. Dalla Tab. 3 e dalla Figura 11, si vede che solo il 43,2% della ricarica avviene in fascia alta e la percorrenza elettrica si riduce solo di un modesto 4,8%.

Passando ai 2 casi in cui è considerata la conoscenza della durata sosta si riportano in Figura 12 i relativi andamenti delle potenze richieste per le ricariche oltre a quello della ricarica libera.

Tab. 3 – Si riportano, per tipo di ricarica eseguita su un veicolo Phev20: la percentuale di percorrenza elettrica ottenuta e quella dell’energia caricata in fascia alta, la percorrenza elettrica mensile di tutti i veicoli e quella media per veicolo, l’energia scaricata da rete per tutti i veicoli e quella media per veicolo.

Pehv20 – Ford Fusion Energy							
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia Caricata in fascia alta [%]	Percor. Elettr. Mensile		Energia scaricata da rete nel mese	
				Tutti i veic. [km] x 10 <sup>6</sup>	Media a veic. [km]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	86,2	82,4	10,42	627	2.587	156
Senza conoscenza dell’ora di fine sosta							
2	Solo fascia bassa	69,0	0,0	8,34	502	2.072	125
3	Ric. Garant.: 60%	81,4	43,2	9,85	593	2.443	147
Con conoscenza dell’ora di fine sosta							
4	Ric. Garant.: 100%	86,3	50,1	10,42	627	2.587	156
5	Ric. Garant.: 75%	83,5	31,4	10,09	607	2.504	151

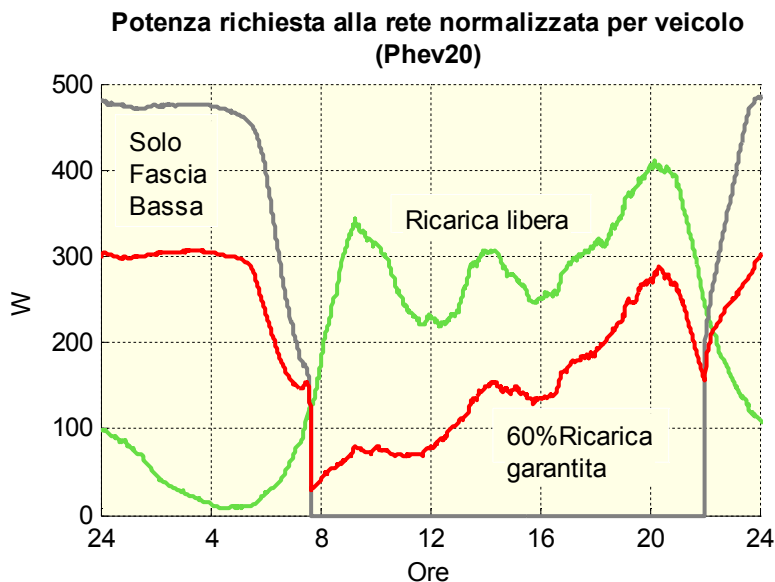
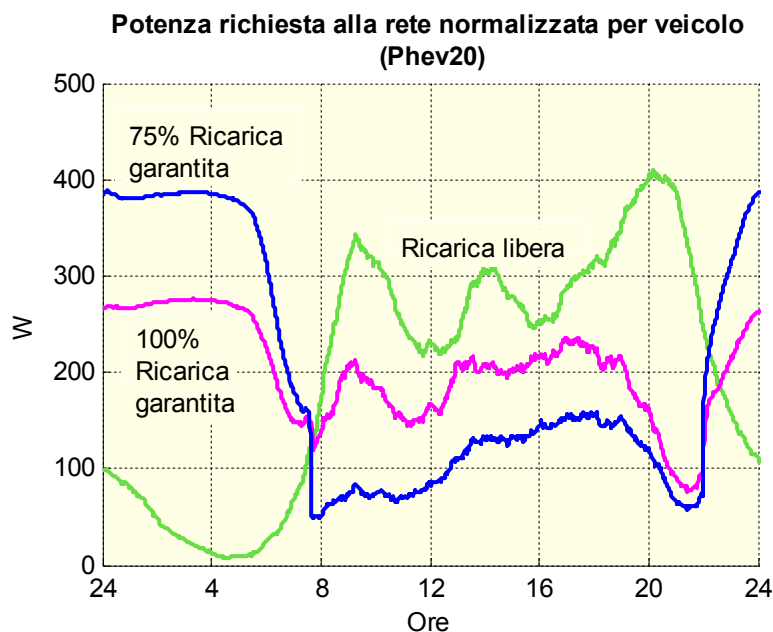


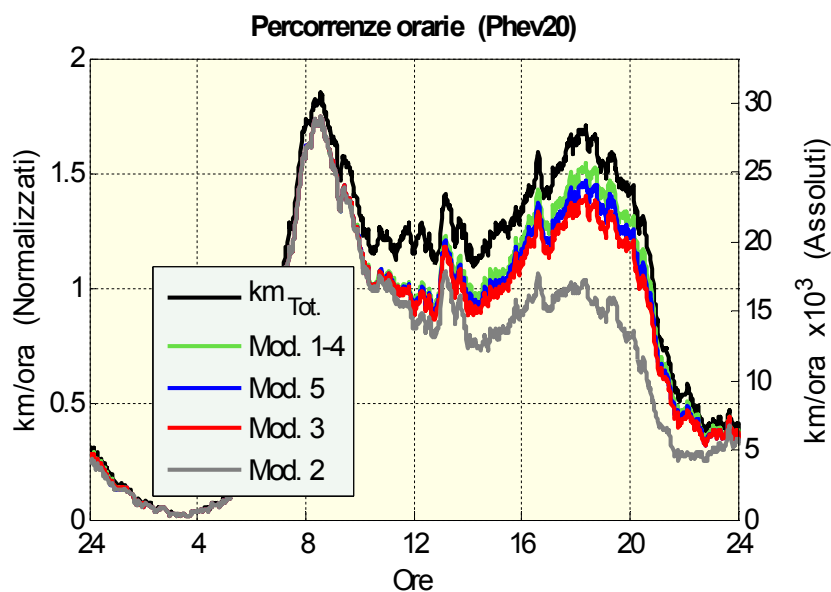
Figura 11 – Potenza richiesta alla rete normalizzata per veicolo (Phev20). In verde l’andamento della ricarica libera. Andamenti, senza conoscere la durata sosta, in sola fascia bassa (grigio), e con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 60% di ricarica (rosso).



**Figura 12 – Potenza richiesta alla rete, normalizzata per veicolo (Phev20).** In verde l'andamento della ricarica libera. Andamenti, con conoscenza della durata sosta, con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 100% di ricarica (magenta) e il 75% (blu).

Il modello 4 (curva magenta), con ricarica garantita al 100% presenta la stessa percorrenza elettrica della ricarica libera con il vantaggio di una migliore distribuzione di ricarica, come si vede in Figura 12, in quanto solo il 50 % della ricarica avviene in fascia alta contro l'82% della ricarica libera.

Nel caso del modello 5 la ricarica in fascia alta scende intorno al 31% con una modesta riduzione della percorrenza elettrica che scende solo del 2,7%.



**Figura 13 – La curva nera rappresenta la percorrenza oraria di tutti i veicoli del campione di riferimento. Le altre curve rappresentano la percorrenza in solo elettrico in base al modello di ricarica adottato con veicoli Phev20. A dx è riportata la scala con i valori assoluti e a sx con valori normalizzati a veicolo.**

Infine in Figura 13 si riporta l'andamento delle percorrenze di tutti i veicoli, rappresentata dalla curva nera. Per confronto, sempre nello stesso grafico, sono riportati le percorrenze in solo elettrico ottenute con i

diversi modelli di ricarica considerati. Le ordinate sono riportate a destra in valore assoluto con i km/ora percorsi da tutti i veicoli, e a sinistra con lo stesso valore normalizzato rispetto al numero dei veicoli del campione.

La ricarica in sola fascia protetta (Mod. 2) è quello che presenta la minor percorrenza elettrica ed è decisamente migliore rispetto a quello ottenuto per i phev10. I rimanenti 2 modelli hanno percorrenze leggermente inferiori al modello a ricarica libera.

### 2.5.3 PHEV40

Infine per l'analisi sui Phev40 si suppone di sostituire tutti i veicoli campione considerati con veicoli con caratteristiche uguali a quelle della Chevrolet Volt, riportate in Tab. 1.

In questo caso la percorrenza elettrica, ottenuta con la ricarica libera, si avvicina moltissimo a quella totale raggiungendo la percentuale del 96,4, come mostrato in Tab. 4. Questi valori sono però ottenuti sempre con un'elevata ricarica in fascia alta pari al 79,1%.

Il modello 2 con ricarica in sola fascia bassa, quello che privilegia maggiormente la rete, si paga con una riduzione della percorrenza elettrica che questa volta si riduce appena di un 6,7 % rispetto a quella del primo modello. Si evidenzia che ora con ricarica solo notturna la percorrenza elettrica raggiunge l'89,7%, come si vede in Tab. 4. Tale valore è veramente buono visto che si avvicina molto alla percorrenza totale dei veicoli campione. Questo ottimo risultato è ottenuto grazie alla batteria da 16 kWh in dotazione alla Chevrolet Volt.

**Tab. 4 – Si riportano, per tipo di ricarica eseguita su un veicolo Phev40: la percentuale di percorrenza elettrica ottenuta e quella dell'energia caricata in fascia alta, la percorrenza elettrica mensile di tutti i veicoli e quella media per veicolo, l'energia scaricata da rete per tutti i veicoli e quella media per veicolo.**

Pehv40 – Chevrolet Volt							
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia Caricata in fascia alta [%]	Percor. Elettr. Mensile		Energia scaricata da rete nel mese	
				Tutti i veic. [km] x 10 <sup>6</sup>	Media a veic. [km]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	96,4	79,1	11.66	701	2.933	176
<i>Senza conoscenza dell'ora di fine sosta</i>							
2	Solo fascia bassa	89,7	0,0	10.85	653	2.725	164
3	Ric. Garant.: 60%	94,9	25,5	11,48	691	2.884	174
<i>Con conoscenza dell'ora di fine sosta</i>							
4	Ric. Garant.: 100%	96,4	47,8	11.66	701	2.933	176
5	Ric. Garant.: 75%	95,7	20,0	11,57	696	2.907	175

Il modello 3, con ricarica garantita al 60%, migliora la distribuzione di energia richiesta per la ricarica. Dalla Tab. 4 e dalla Figura 14, si vede che solo il 25,5% della ricarica avviene in fascia alta e la percorrenza elettrica si riduce appena dell' 1,5% .

Passando ai 2 casi in cui è considerata la conoscenza della durata sosta si riportano in Figura 15 i relativi andamenti delle potenze richieste per le ricariche oltre a quello della ricarica libera.

Il modello 4 (curva magenta), con ricarica garantita al 100%, pur con la stessa percorrenza elettrica della ricarica libera ha una migliore distribuzione di ricarica, come si vede in Figura 15. Utilizza, infatti, la fascia alta solo per il 47,8 % contro il 79,1 % della ricarica libera.

Nel caso del modello 5 la ricarica in fascia alta scende intorno al 20% con una modestissima riduzione della percorrenza elettrica che scende appena dello 0,7%.

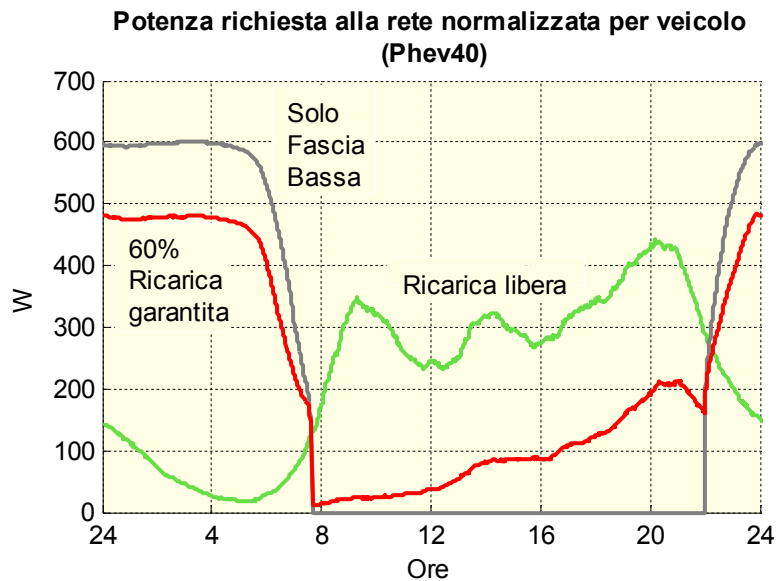


Figura 14 – Potenza richiesta alla rete normalizzata per veicolo (Phev40). In verde l’andamento della ricarica libera. Andamenti, *senza conoscere la durata sosta*, in sola fascia bassa (grigio), e con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 60% di ricarica (rosso).

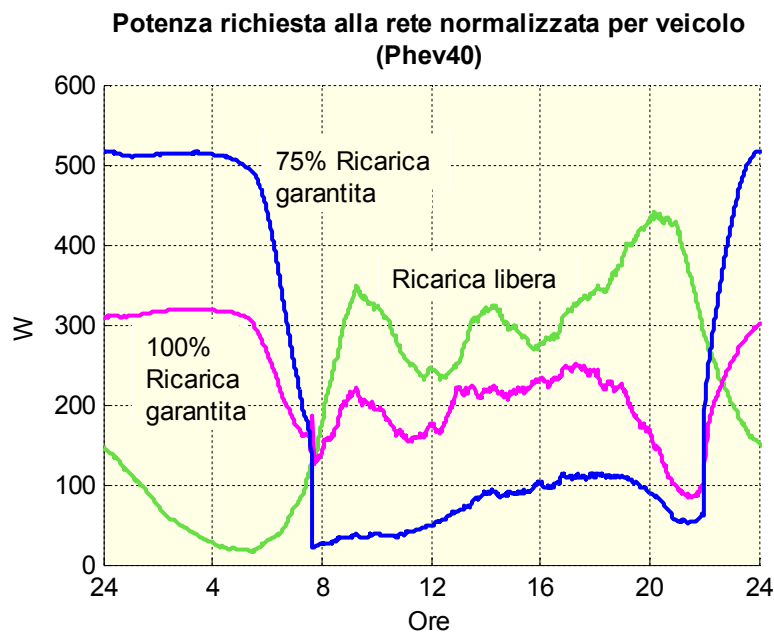
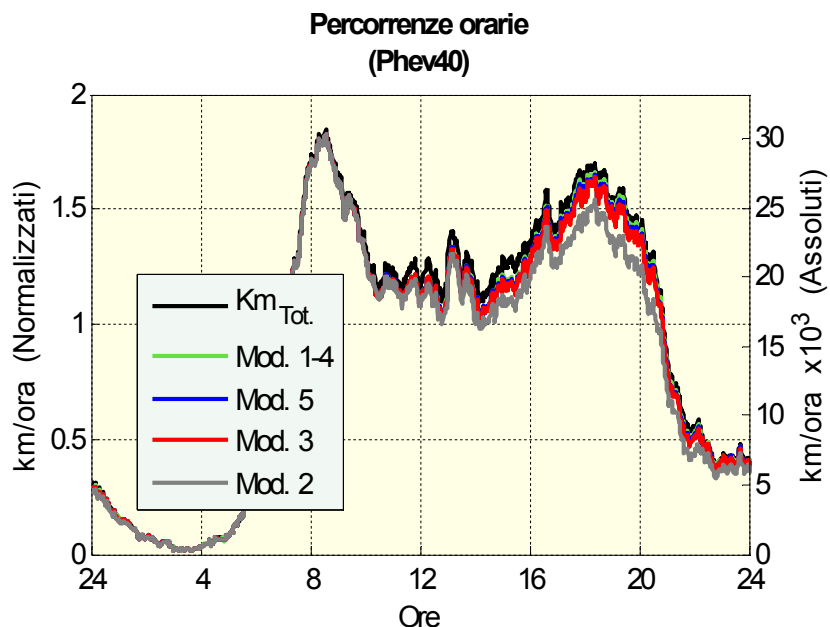


Figura 15 – Potenza richiesta alla rete normalizzata per veicolo (Phev40). In verde l’andamento della ricarica libera. Andamenti, *con conoscenza della durata sosta*, con prevalenza in fascia bassa ma garantendo il 100% di ricarica (magenta) e il 75% (blu).

Infine in Figura 16 si riporta l'andamento delle percorrenze di tutti i veicoli, rappresentata dalla curva nera. Per confronto, sempre nello stesso grafico, sono riportati le percorrenze in solo elettrico ottenute con i diversi modelli di ricarica considerati. Le ordinate sono riportate a destra in valore assoluto con i km/ora percorsi da tutti i veicoli, e a sinistra con lo stesso valore normalizzato rispetto al numero dei veicoli del campione.



**Figura 16 – La curva nera rappresenta la percorrenza oraria di tutti i veicoli del campione di riferimento nella giornata di mercoledì 15 maggio. Le altre curve rappresentano la percorrenza in solo elettrico in base al modello di ricarica adottato con veicoli Phev40. A dx è riportata la scala con i valori assoluti e a sx con valori normalizzati a veicolo.**

La minor percorrenza elettrica, ottenuta sempre con il Modello 2, è in questo caso di poco inferiore alla percorrenza totale di tutti i veicoli come si può vedere dal confronto con la curva nera di Figura 16. I rimanenti modelli hanno percorrenze molto simili alla ricarica libera.

#### 2.5.4 Sintesi sui risultati ottenuti per le 3 tipologie di veicoli

Dai risultati ottenuti, come si vede dalla barre arancioni di Figura 17, i tre phev10-20-40 con la sola ricarica notturna (Modello 2) garantiscono in percentuale una percorrenza elettrica di 56,6%, 69% e 89,7%. Dalle barre verdi, che rappresentano le percorrenze ottenute con ricariche intermedie durante il giorno (Modello 1 e 4), si vede che salgono rispettivamente a: 77,5%, 86,2% e 96,4%. Si nota che, con le ricariche intermedie, le percorrenze elettriche hanno un notevole aumento per i phev10, mentre l'aumento è molto modesto per i phev40. Ciò mette in evidenza che i primi, con la loro piccola batteria, hanno una maggior necessità di utilizzare la ricarica intermedia.

Quanto detto è confermato anche dalla Tab. 5. Infatti dalla seconda colonna si vede, che la ricarica media a veicolo è sempre inferiore alla capacità della batteria riportata in quarta colonna. Però se la media viene fatta solo su i veicoli circolanti, invece che su tutti, come riportato in colonna 3, si vede che la ricarica media per i Phev10 supera la capacità della batteria. Ciò dimostra che molti di questi veicoli fanno più di una ricarica giornaliera.

E' interessante notare che il Phev40 si può considerare sostanzialmente elettrico visto che con le ricariche intermedie è in grado di raggiungere il 96,4% di percorrenza elettrica. Anche utilizzando la sola ricarica notturna questa percentuale scende all' 89,7%, rimanendo ancora molto elevata.



Inoltre visto che la sua ricarica media a veicolo circolante è di 7,8 kWh, con una batteria di 16 kWh, si deduce che l'autonomia giornaliera molto spesso è assicurata dalla sola ricarica notturna e raramente necessita di una duplice ricarica nella giornata. Ciò trova conferma dalla Figura 17, dove si vede che ricaricando in sola fascia bassa, quindi mai di giorno, si raggiunge l' 89,7% di percorrenza elettrica.

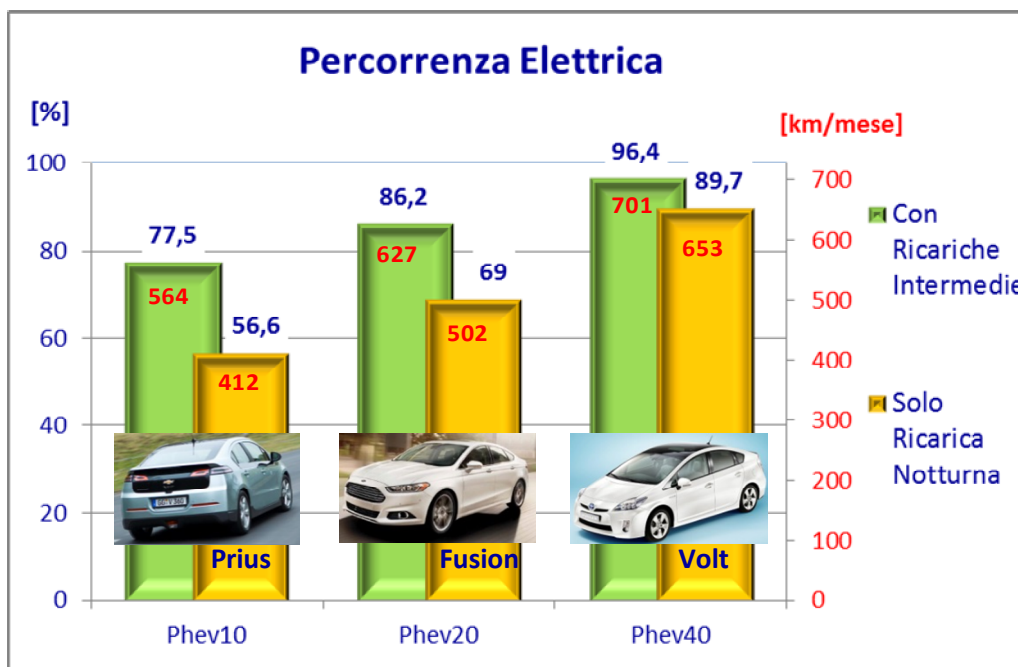


Figura 17 – Percorrenze elettriche in percentuale del totale ed in km percorsi nel mese per i 3 tipi di plug-in considerati. I valori mostrati sono ottenuti con ricarica solo notturna (giallo) e con ricariche intermedie (verde).

Nel confronto tra Phev10 e Phev40 si vede che il primo, con una batteria da 4,4 kWh, garantisce il 77,5% di percorrenza elettrica mentre il secondo per aumentarla del 19% necessita di una batteria da 16 kWh. Quanto detto sembra avvalorare l'affermazione di X. Wu ed altri [ 13] che il Phev10 è più conveniente del Phev40 per via dei minor costi della batteria.

Tab. 5 – Nelle colonne 2 e 3 sono mostrate le ricariche giornaliere mediate su tutti i veicoli e su quelli circolanti; nella 4 è riportata la capacità della batteria e nelle ultime 2 colonne è riportata la percorrenza elettrica in percentuale e in km percorsi al mese.

Tipo di Veicolo	Ricarica media in Mod. 1 o 4 (kWh)		Capacità della batteria (kWh)	Percorrenza Elettrica massima	
	a veicolo	a veic. circolante		%	Km/mese
Phev10	3,8	5,4	4,4	77,5	564
Phev20	5,0	7,1	7,6	86,2	627
Phev40	5,5	7,8	16	96,4	701

Quest'affermazione, per quanto corretta, oggi sembra però venire meno per una incontrollata variazione dei prezzi di vendita. Forse spinti dalla conquista di un mercato in espansione la Chevrolet Volt viene proposta in Europa al prezzo di listino di 40.250 €, che coincide esattamente con quello della Prius. Mentre sul mercato americano la Ford Fusion è proposta in listino, con esclusione di tasse e spese di immatricolazione, al prezzo base di 34.700 \$ (25.400 €) che è inferiore a quello della Prius.

Stando così le cose tutti e 3 i tipi di Phev hanno una buona probabilità di diffusione dove però quelli con maggior autonomia elettrica hanno un più basso costo di esercizio, avendo più elevate percorrenze elettriche. Altro vantaggio importante è quello di garantire buone percorrenze elettriche anche in assenza di colonnine di ricarica diversamente dai Phev10 che necessitano di una loro ampia diffusione per raggiungere la percorrenza del 77,5%.

Anche se i comportamenti di ricarica, dei 3 veicoli sono simili in alcuni casi certe variazioni sono apprezzabili. Il comportamento migliore, nei confronti della rete è quello del phev40, che con il modello di ricarica 5 ottiene il 95,7% di percorrenza elettrica, caricando solo il 20% di energia in fascia alta.

## 2.6 Batteria usata per la circolazione dei veicoli e per il servizio V2G

In questo capitolo viene trattato il servizio reso dalla batteria alla rete, sintetizzato con la sigla V2G, e che viene attuato dal modello di ricarica 6. In questo modello oltre alla ricarica della batteria è prevista anche l'erogazione di energia verso la rete da parte della batteria stessa il cui comportamento verrà verificato per le tre tipologie di veicoli ibridi plug-in.

Anche qui i risultati ottenuti saranno mostrati sempre per la giornata lavorativa di mercoledì 15 maggio. Sia nei grafici, e sia nelle tabelle, verranno riportati, per confronto, i risultati ottenuti con la ricarica libera (Modello 1).

### 2.6.1 PHEV10

In questo capitolo vengono illustrati in Tab. 6 i risultati ottenuti ipotizzando che tutti i veicoli in circolazione siano di tipo Phev10, con identiche caratteristiche della Toyota Prius. Dai risultati messi a confronto con la ricarica libera si vede che, garantendo la stessa percorrenza elettrica di 77,5% , si scaricano dalla rete 1.811 MWh in più al mese che consentono la restituzione mensile di 1.311 MWh con una media a veicolo di 79 kWh.

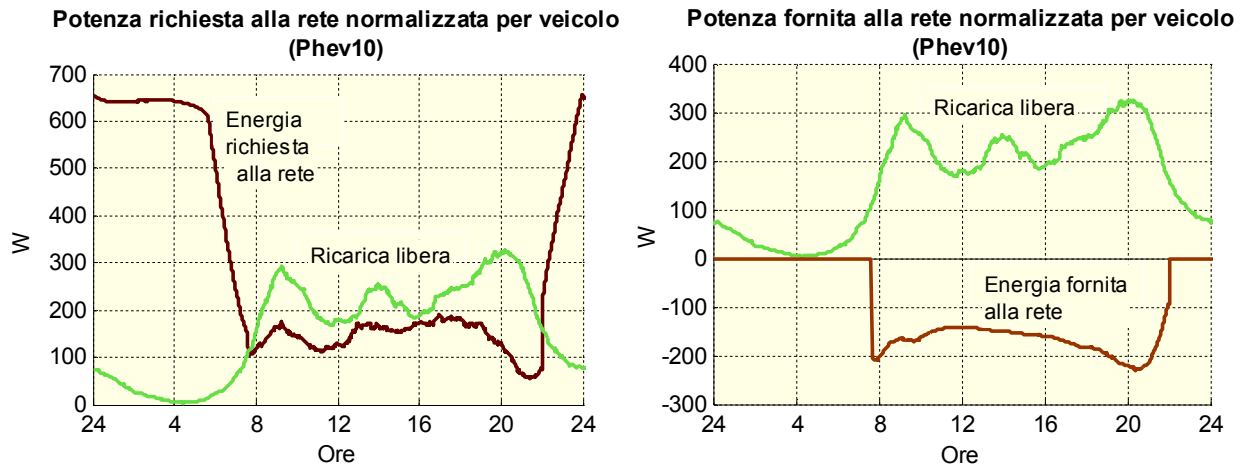
**Tab. 6 – Per un veicolo Phev10 si riportano, riferiti ad un mese: la percentuale di percorrenza elettrica, l'energia scaricata e restituita e la carica netta della batteria. Le ultime 3 variabili sono riportate sia in valore complessivo e sia come valor medio a veicolo.**

Pehv10 – Toyota Prius								
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia scaricata da rete nel mese		Energia netta restituita alla rete nel mese		Carica netta alla batteria nel mese per trazione elettrica	
			Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	77,5	1.980	119	0	0	1.678	101
6	V2G	77,5	3.791	228	1.311	79	1.678	101

Nei grafici di Figura 18 sono riportate separatamente in marrone la potenza richiesta alla rete (a sinistra) e quella netta fornita alla rete. Le potenze sono riportate normalizzate a veicolo. Negli stessi grafici, per confronto è riportata la potenza richiesta per la ricarica libera.

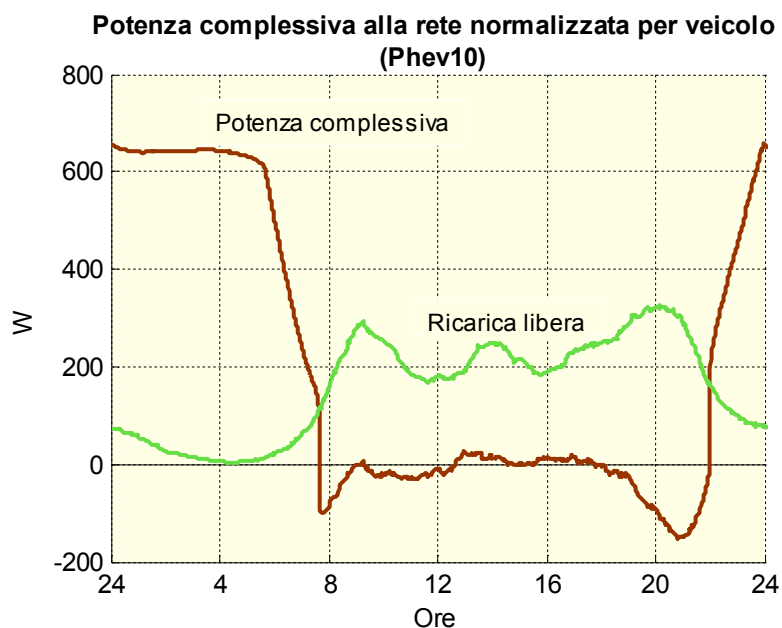
Come si vede dal grafico di sinistra la potenza richiesta nelle ore notturne è circa 4 volte superiore a quella richiesta nelle ore diurne. Inoltre si osserva che la potenza richiesta nelle ore diurne è leggermente

inferiore a quella della ricarica libera. In questo modello, oltre alla potenza richiesta per la circolazione, si aggiunge quella fornita alla rete durante la fascia alta, come riportato nel grafico di destra.



**Figura 18 – In marrone, potenza richiesta (a sx) e fornita (a dx) alla rete per veicolo (Phev10). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.**

Il comportamento complessivo verso la rete, tra potenza richiesta e quella fornita è dato dalla curva marrone in Figura 19. Come si vede c'è una forte richiesta di energia nelle ore notturne. Nelle ore diurne la potenza richiesta e quella fornita si equivalgono con l'eccezione di brevi istanti intorno alle 8 e alle 21 dove si ha una modesta prevalenza dell'energia fornita dalla batteria alla rete.



**Figura 19 – In marrone, potenza complessiva alla rete per veicolo (Phev10). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.**

2.6.2 PHEV20

Ipotizzando la sostituzione di tutti i veicoli in circolazione con veicoli di tipo Phev20 con le caratteristiche della Ford Fusion Energy si ottengono i risultati illustrati in Tab. 7.

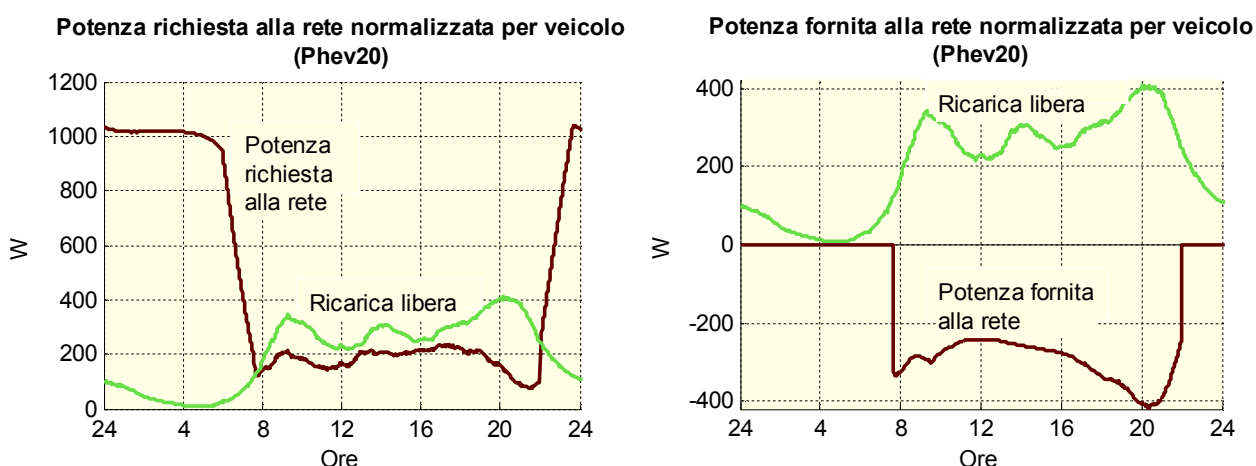
Dal confronto con la ricarica libera si vede che viene mantenuta la stessa percorrenza elettrica di 86,2% , e si scaricano dalla rete 3.117 MWh in più al mese che permettono la restituzione di 2.291 MWh, con una media a veicolo di 138 kWh.

**Tab. 7 – Per un veicolo Phev20 si riportano, riferiti ad un mese: la percentuale di percorrenza elettrica, l’energia scaricata e restituita e la carica netta della batteria. Le ultime 3 variabili sono riportate sia in valore complessivo e sia come valor medio a veicolo.**

Pehv20 – Ford Fusion Energy								
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia scaricata da rete nel mese		Energia netta restituita alla rete nel mese		Carica netta alla batteria nel mese per trazione elettrica	
			Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	86,2	2.587	156	0	0	2.187	131
6	V2G	86,2	5.704	343	2.291	138	2.148	129

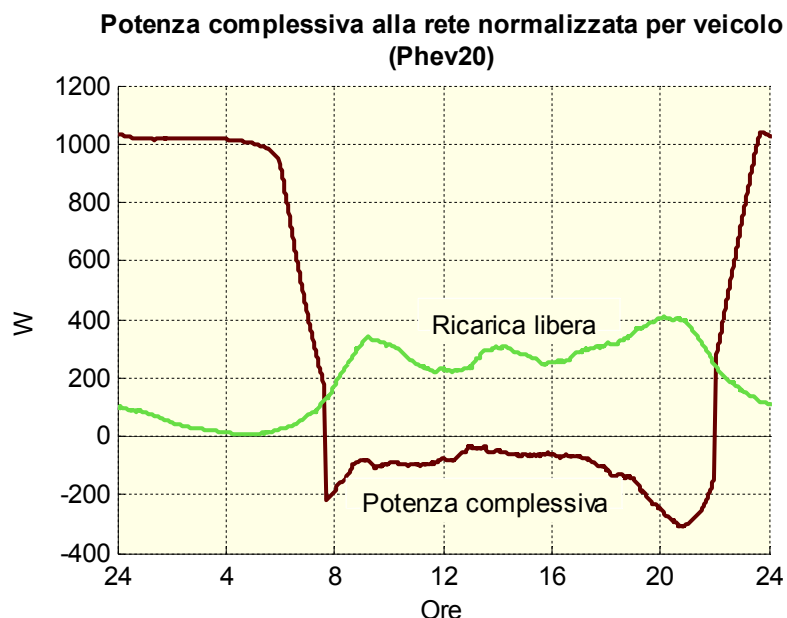
Nei grafici di Figura 20 sono riportate separatamente in marrone la potenza richiesta alla rete (a sinistra) e quella netta fornita (a destra). Nella curva verde, per confronto è rappresentata la potenza richiesta per la ricarica libera.

Dal grafico di sinistra si osserva che la potenza richiesta nelle ore notturne è ora 5 volte superiore a quella richiesta nelle ore diurne. Ciò consente, come si vede dal grafico di destra, di erogare nelle ore diurne potenze più elevate rispetto a quelle precedentemente viste per i phev10.



**Figura 20 – In marrone, potenza richiesta (a sx) e fornita (a dx) alla rete per veicolo (Phev20). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.**

Infine il comportamento complessivo verso la rete è dato dalla curva marrone in Figura 21. Dalla figura si osserva che dal bilancio, fatto nelle ore diurne, tra le potenze richieste e quelle fornite alla rete, rimane sempre una potenza disponibile da immettere in rete.



**Figura 21 – In marrone, potenza complessiva alla rete per veicolo (Phev20). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.**

### 2.6.3 PHEV40

Infine se si suppone di sostituire tutti i veicoli circolanti con veicoli di tipo Phev40 con caratteristiche uguali a quelli della Chevrolet Volt si ottengono i risultati riportati in Tab. 8.

Dal confronto con la ricarica libera si vede che a parità di percorrenza elettrica, di 96,4%, si scaricano dalla rete 6.073 MWh in più al mese e permettono di restituire alla rete 4.553 MWh con una restituzione media a veicolo di 274 kWh.

**Tab. 8 – Per un veicolo Phev40 si riportano, riferiti ad un mese: la percentuale di percorrenza elettrica, l'energia scaricata e restituita e la carica netta della batteria. Le ultime 3 variabili sono riportate sia in valore complessivo e sia come valor medio a veicolo.**

Pehv40 – Chevrolet Volt								
N° Modello	Tipo di Ricarica	Percorrenza Elettrica [%]	Energia scaricata da rete nel mese		Energia netta restituita alla rete nel mese		Carica netta alla batteria nel mese per trazione elettrica	
			Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]	Tutti i veic. [MWh]	Media a veic. [kWh]
1	Libera	96,4	2.932	176	0	0	2.468	148
6	V2G	96,4	9.005	542	4.553	274	2.290	138

Nei grafici di Figura 22 sono riportate in marrone sia la potenza richiesta alla rete (a sinistra) e sia quella netta fornita (a destra). Nella curva verde, per confronto è rappresentata la potenza richiesta per la ricarica libera.

Dal grafico di sinistra la potenza richiesta nelle ore notturne è ora 8 volte superiore a quella richiesta nelle ore diurne. Ciò consente, come si vede dal grafico di destra, di erogare una potenza media a veicolo che si mantiene sempre superiore ai 400 W.

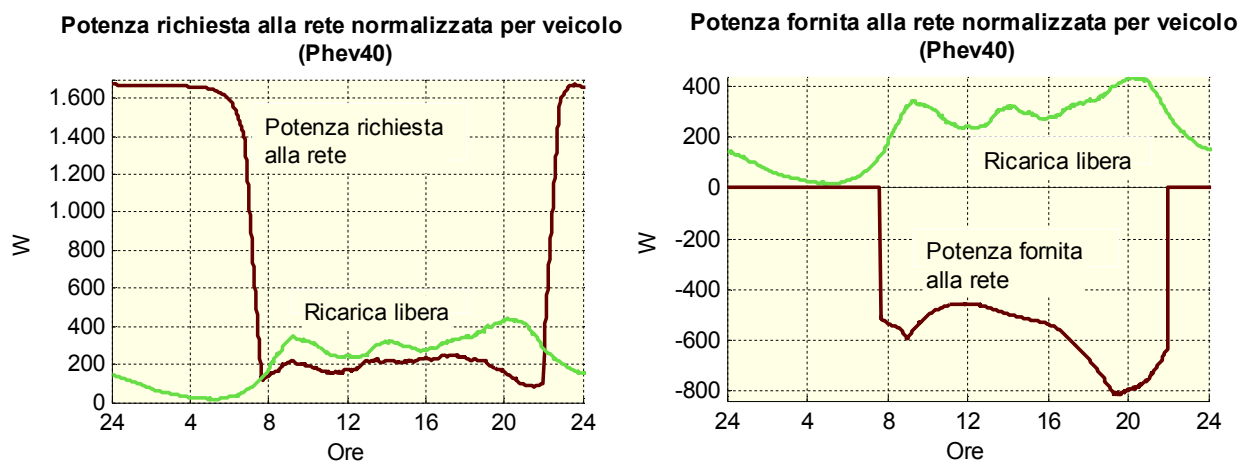


Figura 22 – In marrone, potenza richiesta (a sx) e fornita (a dx) alla rete per veicolo (Phev40). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.

Dal comportamento complessivo verso la rete, dato dalla curva marrone in Figura 23, si vede che la forte richiesta di energia nelle ore notturne porta ad una consistente potenza che la batteria riesce a fornire alla rete nelle ore di fascia alta.

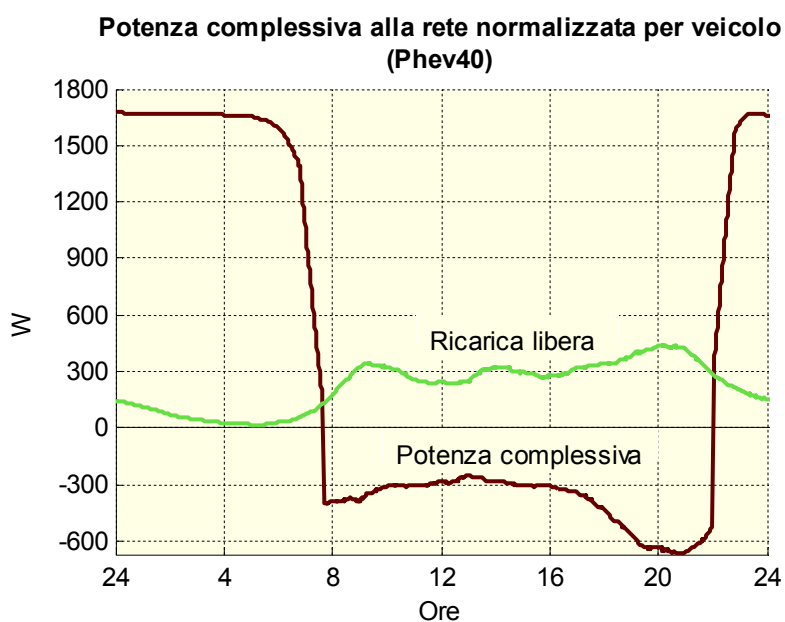


Figura 23 – In marrone, potenza complessiva alla rete per veicolo (Phev40). Le potenze sono riportate in valore normalizzato. In verde, per confronto, la potenza richiesta per la ricarica libera.

#### 2.6.4 Sintesi e valutazione della ricarica con servizio V2G

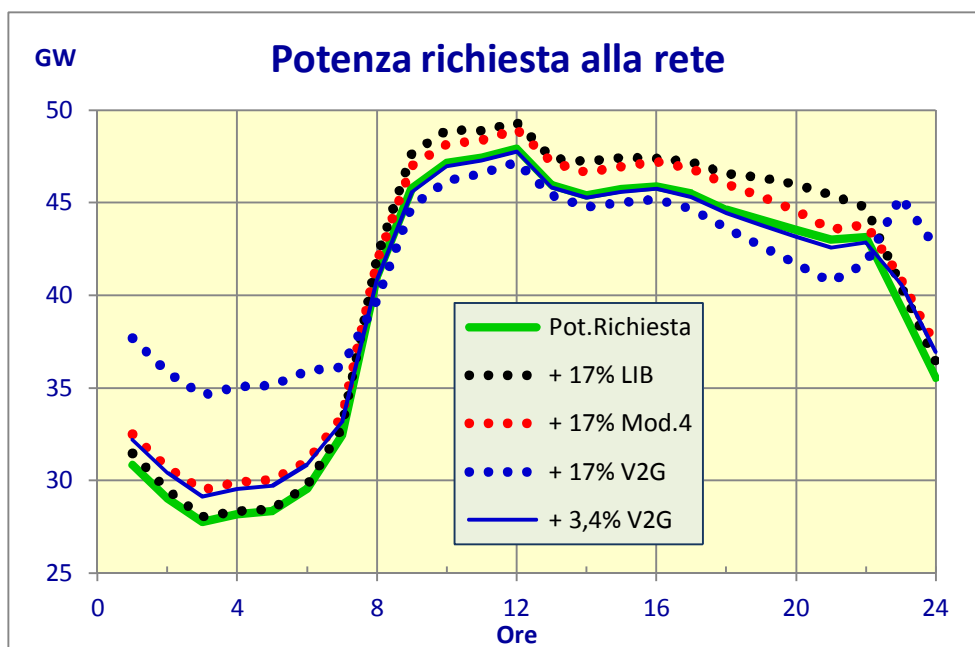
Con il servizio V2G, la batteria del veicolo oltre che a richiedere energia per l'autotrazione, si ricarica anche per fornire energia alla rete, nelle ore di alta richiesta. Pertanto più la batteria disponibile è grande più le prestazioni sono migliori perché si può disporre di una maggior carica da restituire in fascia alta.

Dai risultati ottenuti si vede che già con la piccola batteria da 4,4 kWh, in dotazione ai Phev10, si hanno buone prestazioni. Infatti l'energia richiesta nella fascia alta, come si vede in Figura 19, è praticamente nulla nel senso che quella *effettivamente* fornita alla rete è esattamente sufficiente a compensare le richieste di energia di quei VE che obbligatoriamente necessitano di ricarica durante la fascia alta. Nel caso dei Phev20 e Phev40 le prestazioni sono più elevate. In particolare, come si vede dalla Figura 23, per i phev40 un veicolo riesce mediamente a fornire in fascia alta, una potenza che non scende mai al disotto dei 300 W, oltre all'energia fornita, sempre in questa fascia, ad una parte dei VE.

Le buone prestazioni del servizio di ricarica V2G si possono comprendere meglio osservando il grafico di Figura 24 dove con la curva verde si rappresenta la potenza oraria richiesta, sulla rete italiana, il 3° mercoledì del mese di maggio 2013, secondo quanto rilevato da TERN. A questa curva verde si aggiunge il carico derivante dalla presenza di un certo numero di veicoli phev, nel parco veicolare italiano.

Si ipotizza una penetrazione di questi veicoli del 17%, come previsto per l'Italia in [ 7], e si suppone che la percentuale sia composta esattamente da 1/3 di ciascuno dei 3 tipi di plug-in considerati.

Se si aggiungono alla rete i carichi di questi veicoli, ipotizzando che adottino la stessa modalità di ricarica, si ottengono le tre curve punteggiate: la nera per la ricarica libera, la rossa per quella con il modello 4 (conoscenza durata sosta e ricarica garantita al 100%) e la blu per la ricarica con V2G.



**Figura 24 – La curva verde rappresenta l'andamento della potenza richiesta alla rete italiana nel 3° mercoledì di maggio 2013. Le curve punteggiate considerano un carico aggiuntivo del 17% dei veicoli nazionali con ricarica libera (nera), ricarica con Mod.4 (rossa) e ricarica V2G (blu). Aggiungendo un carico ridotto al 3,4% dei veicoli nazionali, con ricarica V2G, si ottiene la curva continua blu.**

Si vede che la ricarica libera (curva nera) aumenta i carichi solo nella fascia alta; diversamente quella del modello 4 (curva rossa) la distribuisce uniformemente, mentre la ricarica V2G preleva moltissimo nelle ore notturne contribuendo anche ad una piccola riduzione nelle ore di punta.

Ovviamente questi andamenti descritti sono puramente indicativi poiché l'andamento vero avrà un valore intermedio in quanto il comportamento di ricarica dei veicoli sarà abbastanza eterogeneo.

Se più realisticamente si ipotizza che solo il 20% dei possessori di veicoli PHEV si ricarichi con le modalità V2G, si può osservare che, aggiungendo alla rete la richiesta di questo 3,4% di veicoli, si ottiene la curva continua blu.

Come si vede, durante le ore giornaliere non si ha nessun aumento di carico, anzi si ha una lievissima riduzione. Il carico richiesto alla rete si concentra solamente nelle ore notturne.

Se dal punto di vista delle prestazioni, questo servizio verso la rete sembra buono, rimane critico dal punto di vista economico. L'analisi economica è molto complessa ed è difficile quantificare quanti sono i vantaggi per il gestore di rete. Si può però facilmente asserire che se una batteria eroga nella sua vita metà dell'energia verso la rete, il proprietario del veicolo deve rientrare del costo di mezza batteria e poi deve percepire un contributo per il servizio reso.

La batteria prelevando in fascia bassa e restituendo in quella alta ha una perdita di energia di 20-30% che nelle migliori condizioni può essere economicamente recuperata con la differenza del costo del kWh tra le 2 fasce.

Per sapere quanto incide il costo della batteria si può stimare che se oggi il suo prezzo è di 600 €/kWh, e la vita media è di 1.000 ricariche, il costo per kWh erogato è di 0,60 €. Se invece la vita della batteria arriva a 2.000 ricariche questo costo scende a 0,30 €/kWh ma rimane sempre molto elevato poiché corrisponde a circa 4 volte il costo di produzione del kWh.

A questa semplice analisi vanno però aggiunti i vantaggi economici ottenuti dal gestore della rete. Anche se il costo batteria per il kWh erogato con il V2G è certamente critico, va considerato che in futuro, con l'aumentata produzione, le batterie subiranno una riduzione dei prezzi, mentre le migliorate prestazioni aumenteranno il numero dei cicli vita. Inoltre se il kWh continuerà ad aumentare, il costo batteria, per kWh erogato, sarà meno critico di oggi.

L'analisi economica, qui brevemente esposta, lascia intravedere che sicuramente in un prossimo futuro il servizio V2G sarà meno antieconomico di come oggi può apparire.

### 3 Conclusioni

Da questo lavoro, dedicato alla ricarica dei veicoli elettrici plug-in, si può concludere che, sia il sistema per la sola ricarica, sia quello che offre anche il servizio V2G, forniscono un buon comportamento sulla rete riuscendo a distribuire in modo ottimale il carico nella giornata. Nonostante queste buone prestazioni verso la rete, si riesce a garantire al veicolo lo stesso servizio che l'utente può ottenere liberamente.

Va segnalato che una ricarica gestita esclusivamente dall'utenza basata sul solo costo delle fasce orarie sarebbe inopportuna in quanto concentrerebbe un elevato numero di richieste di ricarica proprio nell'istante iniziale della fascia bassa e creerebbe un anomalo picco di potenza sulla rete.

A tal proposito si ricorda che la borsa americana, in un periodo in cui l'economia degli Stati Uniti andava abbastanza bene, stranamente accusò un repentino e anomalo ribasso. Si scoprì che ciò fu causato da alcuni programmi di gestione, dei titoli di borsa, che molti utenti seguivano, e che concentrarono nello stesso periodo un elevato numero di vendite.

Quindi sarebbe auspicabile che i sistemi di ricarica non siano totalmente orientati sull'esigenza dell'utente, che avrebbe tutto l'interesse di ricaricare appena inizia la fascia bassa, ma siano anche orientati sull'esigenze della rete, distribuendo la ricarica ove possibile, ma senza introdurre penalizzazioni all'utente.

Il sistema proposto con la sola ricarica è attualmente applicabile, mentre quello che prevede anche il servizio V2G pur dando un buon comportamento a livello di prestazioni va valutato meglio dal punto di vista economico.



Infatti se un veicolo plug-in viene impiegato per rendere anche il servizio V2G la sua batteria, nell'utilizzo per autotrazione, avrà una minor durata e attualmente i costi per un più frequente ricambio della batteria rimangono elevati.

## 4 Riferimenti bibliografici

- [ 1] G. Giuli, M. Mancini, M. P. Valentini, "Studio delle interrelazioni tra il sistema elettrico e quello dei trasporti urbani", Report RdS/2013/133, Settembre 2013
- [ 2] [http://www.amicidellaterra.it/images/efficienzaitalia/Proposte\\_AdT\\_24-05.pdf](http://www.amicidellaterra.it/images/efficienzaitalia/Proposte_AdT_24-05.pdf)
- [ 3] M.A. Delucchi, C. Yang, A.F. Burke, J.M. Ogden, K. Kurani, J. Kessler, D. Sperling, "An assessment of electric vehicles: technology, infrastructure requirements, greenhouse-gas emissions, petroleum use, material use, lifetime cost, consumer acceptance and policy initiatives", *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 2 December 2013.  
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/372/2006/20120325.full.pdf+html>.
- [ 4] ETEC, "Electric vehicle charging infrastructure deployment guidelines for the greater San Diego area", Electric Transportation Engineering Corporation, 2010.
- [ 5] A. Schoroeder, T. Traber, "The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles", *Energy Policy* 43, 2012.
- [ 6] Françoise Nemry, Martijn Brons, "Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles, Market penetration scenarios of electric drive vehicles", JRC technical notes, JRC58748 – 2010.
- [ 7] G. Riva, I.M. Gianinoni, C. Caruso, "Scenari di mobilità connessi alla diffusione dei veicoli PEV/PHEV", Rapporto 10000734, (PAD - 822336), Erse, Feb. 2010.
- [ 8] Mobashwir Khan, Kara M. Kockelman, "Predicting the market potential of plug-in electric vehicles using multiday gps data", Transportation Research Board's 91<sup>st</sup> Annual Meeting, January 2012, *Energy Policy*, Volume 46, July 2012.
- [ 9] D. Sperling, and N. Lutsey, "Energy Efficiency in Passenger Transportation", 2009, *The Bridge*, 39(2): 22-30.
- [ 10] "Strategic Analysis of North American Passenger Electric Vehicle Market", Frost & Sullivan (2009a), <http://www.frost.com/prod/servlet/report-toc.pag?repid=N598-01-00-00-00>
- [ 11] A. Simpson, "Cost-Benefit Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Technology", 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle, Symposium (EVS-22), 2006, Yokohama, Japan.
- [ 12] Françoise Nemry, Guillaume Leduc, Almudena Muñoz, "Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles, State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency", JRC technical notes, JRC 54699 – 2009.
- [ 13] X. Wu, J. Dong, Z. Lin, "Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles using GPS-based longitudinal travel data", *Energy Policy* 68, Elsevier, 2014.
- [ 14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_hybrid\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_hybrid_vehicle)
- [ 15] [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car)

- [ 16] Stacy C. Davis, Susan W. Diegel, and Robert G. Boundy , "Transportation Energy Data Book Edition 31", Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, July 2012.
- [ 17] John Voelcker , "Plug-In Electric Car Sales Triple In 2012 As Buyers, Models Increase", Green Car Reports, 01-03-2013.
- [ 18] Jeff Cobb , "December 2013 Dashboard", HybridCars.com and Baum & Associates, 01-06-2014.
- [ 19] Maigha and Mariesa L. Crow, "Economic Scheduling of Residential Plug-In (Hybrid) Electric Vehicle (PHEV) Charging", Energies, 25 March 2014, ISSN 1996-1073
- [ 20] [http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA\\_ELETRICO/statistiche/dati\\_statistici.aspx](http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETRICO/statistiche/dati_statistici.aspx)

## 5 Abbreviazioni ed acronimi

- AER = All-Electric Range: autonomia in sola alimentazione elettrica del veicolo che parte con batteria totalmente carica. Usualmente riferito ai veicoli PHEV
- BEV = Battery Electric Vehicle, con motore esclusivamente elettrico.
- CD = Charge depleting. Indica che il veicolo PHEV sta operando usando solo il motore elettrico.
- CS = Charge sustaining. Indica che il veicolo PHEV sta operando usando anche il motore a combustione.
- EV = Electric Vehicle.
- GIS = Geographical Information System. Programmi per la produzione di grafici
- GSM = Global System for Mobile Communications. Standard di telefonia mobile.
- GPRS = General Packet Radio Service. Standard di telefonia mobile.
- PEV = Plug-in Electric Vehicle. In sintesi comprende sia i BEV e sia i PHEV.
- PHEV = Plug-in Hybrid Electric Vehicle.
- PHEV10= PHEV con 10 miglia di autonomia in modalità puramente elettrica.
- V2G = Vehicle to Grid. Modalità di funzionamento che consente al VE di fornire energia alla rete .
- VCI = Veicoli a combustione interna.
- VE = Veicolo elettrico.