



Ricerca di Sistema elettrico

## Elettromobilità urbana e Sistemi di Ricarica Multisorgente

*Antonino Genovese, Giancarlo Giuli, Massimo Mancini*

## ELETTROMOBILITÀ URBANA E SISTEMI DI RICARICA MULTISORGENTE

Antonino Genovese, Giancarlo Giuli, Massimo Mancini (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

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

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

Obiettivo: a.2- Convertitore per stazione di ricarica con accumulo stazionario per l'integrazione nei sistemi dei trasporti E.E. da fonti rinnovabili non programmabili

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA



## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INFRASTRUTTURE PER LA RICARICA.....	6
1.1 IL PIANO NAZIONALE DELLE INFRASTRUTTURE DI RICARICA ELETTRICA .....	7
1.2 INFRASTRUTTURE DI RICARICHE : QUANTE, QUALI E DOVE ? .....	9
PARTE I.....	12
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	12
2.1 CONSIDERAZIONI GENERALI.....	12
2.2 DESCRIZIONE DEI DATI CAMPIONE.....	13
2.2.1 <i>Analisi dei comportamenti di mobilità privata</i> .....	17
2.2.2 <i>Statistiche sugli spostamenti</i> .....	18
2.3 SCELTA DELLE TIPOLOGIE DI VEICOLI ELETTRICI .....	22
2.4 BATTERIE E MODALITÀ DI RICARICA .....	24
2.4.1 <i>Batteria da 24 kWh</i> .....	25
2.4.2 <i>Batteria da 30 kWh</i> .....	27
2.4.3 <i>Batteria da 36 kWh</i> .....	28
2.4.4 <i>Batteria da 48 kWh</i> .....	29
2.5 SINTESI SUI RISULTATI OTTENUTI .....	30
3 CONCLUSIONI I.....	32
PARTE II.....	32
4 APPLICAZIONE DI UN SISTEMA MULTI SORGENTE PER LA RICARICA ELETTRICA.....	32
5 CONCLUSIONI II.....	39
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	39
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	41

## Sommario

Il veicolo elettrico grazie ai notevoli miglioramenti ottenuti e grazie anche agli incentivi erogati dai vari stati, comincia pian piano ad inserirsi nel mercato delle vendite. Grazie ai progressi ottenuti nell'aumentare la capacità delle batterie e nel ridurre i consumi, oggi i veicoli elettrici (VE), nelle versioni base, sono in grado di superare tranquillamente i 100 km ed addirittura per alcuni modelli si può arrivare anche a 500 km. Mentre in diversi paesi europei le vendite mostrano un certo interesse per questo tipo di veicoli, in Italia le vendite sembrano confermare ancora una certa diffidenza. Alcune perplessità sull'acquisto sono legate alla sua ridotta autonomia e alla difficoltà di ricarica.

L'elevato costo quindi non rimane l'unico handicap, perché chi affronta l'acquisto di un veicolo dal costo molto superiore ai veicoli a combustione interna (VCI), pretenderebbe giustamente di disporre di un veicolo di adeguata autonomia.

Mentre la discesa del costo del VE richiederà un certo tempo, il problema dell'autonomia già da oggi non esiste per una consistente percentuale di veicoli.

Essendo abituati ad avere vetture con autonomie da 500 km o oltre è chiaro che ci sia una naturale diffidenza verso un veicolo che garantisce appena poco più di 100 km.

Occorre sottolineare che frequentemente, durante il rifornimento, il serbatoio del carburante non sempre viene completamente riempito, consentendo quindi un'autonomia al disotto di quella dichiarata dalla casa. Ci sono inoltre altri casi in cui il pieno non viene fatto per necessità, ma per evitare frequenti rifornimenti.

Si riscontra che una consistente percentuale di veicoli, nell'arco dell'anno, solo per pochissime volte ha una percorrenza tale che il VE non è in grado di garantire. Vista la bassa frequenza di queste occorrenze, può essere accettabile una soluzione alternativa di spostamento, evitando quei pochi spostamenti problematici che mandano in crisi il VE. Questa soluzione, ottenuta con uno scambio di auto in ambito familiare, oppure usando mezzi di trasporto pubblico, consentirebbe la penetrazione di un maggior numero di VE.

Quindi nonostante l'autonomia, effettivamente richiesta sia frequentemente al disotto di quella garantita dalle vetture in nostro possesso, di fatto si rimane perplessi quando vengono proposte vetture con una ridotta autonomia.

Può essere pertanto utile conoscere concretamente quanti sono i casi in cui è sufficiente una ridotta autonomia come quella offerta dai VE. Comprendere meglio le reali esigenze dei veicoli può aiutare a convincersi che in diversi casi l'autonomia del VE non è il principale un problema.

Il PNIRE (Piano Nazionale per le Infrastrutture di Ricarica Elettrica) fornisce le linee guida per la costituzione di una rete di ricarica in grado di sostenere la diffusione della mobilità elettrica. Il Piano individua priorità di lavoro su cui basare le scelte di campo per la crescita di un sistema nazionale competitivo e sostenibile per la mobilità elettrica. In esso sono contenute indicazioni di rilievo mirate anche alla attuazione di modalità diversificate di rifornimento energetico dei veicoli elettrici. Facendo riferimento ai contenuti del PNIRE ed in linea con la necessità di minimizzare gli impatti sulla rete in contesti urbani critici, l'adozione di metodiche multi sorgente capaci di integrare rete, fonti rinnovabili ed accumulo stazionario sono soluzione praticabili. La conoscenza delle reali esigenze di spostamento è vantaggioso per la determinazione di profili di carico che possono essere richiesti alle stazioni di ricarica. In questo ambito la determinazione dei profili reali di carico è stata la base di partenza per testare l'applicazione di sistemi di ricarica multi sorgente alla luce degli sviluppi prodotti nel lavoro dell'Università di Cassino (RdS/PAR2014/104).

## 1 Infrastrutture per la ricarica

I veicoli elettrici sono l'alternativa maggiormente promettente per la sostituzione dei veicoli convenzionali alimentati da combustibili di origine fossile ( diesel, benzina, gas naturale o GPL). Infatti le prestazioni ambientali sono considerate ottime a livello locale avendosi un fattore di emissione nullo per le emissioni gassose e di PM. Questo conduce alla importante considerazione che i costi esterni prodotti dal sistema dei trasporti urbani possono essere drasticamente contenuti per gli aspetti discendenti dalla esposizione alle sostanze nocive provenienti dalle emissioni del traffico urbano. Tuttavia una considerazione su scala maggiore implica la valutazione delle emissioni relativamente alle esigenze di produzione dell'energia elettrica attraverso la variegata composizione del sistema di produzione nazionale. Negli ultimi anni la quota di produzione elettrica da fonte rinnovabile ha sicuramente ridotto i fattori emissivi per unità di energia prodotta e questo ha reso attraente anche su scala nazionale la conversione del parco veicolare e la transizione verso il paradigma elettrico del trasporto urbano. Sebbene i veicoli elettrici promettano ottime prestazioni sotto il profilo ambientale e di efficienza energetica, uno degli aspetti costituenti una vera e propria barriera alla loro diffusione è rappresentato dall'*"ansia di autonomia"* che coinvolge le persone che si trovano a guidare ( o vorrebbero possedere) un veicolo elettrico. L'ansia da autonomia, come indicato nell'Oxford Dictionary, è definibile come il timore di chi, trovandosi alla guida di un veicolo elettrico, ritiene di non poter raggiungere la destinazione del viaggio o una stazione di ricarica intermedia [ 1]. Pertanto la paura di non possedere abbastanza energia a bordo produce uno stato di incertezza, nella valutazione delle prestazioni e orienta le scelte dei consumatori verso altri tipi di veicoli. A testimonianza di questa incertezza la prima domanda che, generalmente, il possibile acquirente di un veicolo elettrico formula è " quanti chilometri percorre ? " diversamente da chi valuta l'acquisto di un veicolo convenzionale che chiede " quanti chilometri percorre con un litro ? ". Stimolanti studi sulle barriere psicologiche [ 2] hanno indicato la possibilità di superare questi limiti mentali rafforzando le azioni a livello di percezione e di informazione anche attraverso opportuni training. In una interessante tesi di dottorato [ 3] è stato valutato l'effetto dell'azione psicologica che tende a ridurre l'autonomia percepita del veicolo: il 20-25% dell'autonomia reale del veicolo viene perduta dall'ansia di rimanere senza energia in batteria. Lo studio condotto in Germania su un campione di 79 automobilisti alla guida di veicoli elettrici ha mostrato che situazioni realmente critiche per l'autonomia del veicolo elettrico sono risultate rare poiché la grande maggioranza degli autisti si è mantenuta al di sotto di 150 km giornalieri. Dunque non è il rischio reale di rimanere a "secco" che incide sullo stato di ansia ma la paura di potersi trovarsi in una situazione del genere e questo colpisce in modo singolare coloro che sono meno esposti a questo rischio ( percorrenza giornaliera < 100 km). La paura induce alla creazione di un limite minimo di energia residua in batteria superiore a quello indicato e consentito dal veicolo. La percezione dell'autonomia del veicolo diviene pertanto soggettiva e variabile secondo il grado di abilità del conducente. Quest'ultimo deve avere una guida: competente, capace di valutare il proprio stile di guida e la massima distanza percorribile, una guida basata sulle abitudini quotidiane e che si attiene all' effettiva autonomia disponibile. La diffidenza che si instaura inibisce gli spostamenti riducendo l'attrattiva del veicolo elettrico e quindi risulta fondamentale agire sulla percezione che le persone hanno del veicolo elettrico prima di agire sul fronte di costose migliorie tecnologiche. Infine lo studio riporta che la preferenza verso il veicolo elettrico va ad una fascia di guidatori che percorre tragitti abituali e che la differenza tra autonomia "sicura" ed autonomia reale si riduce al crescere dei chilometri percorsi grazie alla migliore conoscenza del veicolo.

Sul fronte tecnologico i costruttori, perseguendo l'obiettivo di fornire veicoli in grado di soddisfare le esigenze della mobilità urbana, si sono cimentati nel produrre significative migliorie del sistema di accumulo veicolare grazie alla ricerca sviluppata intorno alle batterie Li-ioni. Questi sforzi hanno condotto al raggiungimento di autonomie per i veicoli elettrici di oltre 100 km [ 4] come evidenziato nel grafico di Figura 1. Si rileva, per un certo insieme di veicoli commerciali mostrati in figura, una dipendenza dell'autonomia dalla capacità del sistema di accumulo presente a bordo: nel campo tra 16 – 28 kWh i veicoli elettrici mostrano una percorrenza variabile tra i 100 – 150 km. Incrementi sensibili dell'autonomia ( 350 - 400 km) sono conseguiti a seguito di un sostanziale incremento della capacità di accumulo tra i 70 e 80

kWh. L'aumento della capacità di accumulo ovviamente si paga con un innalzamento dei costi e con un maggior ingombro e peso a bordo.

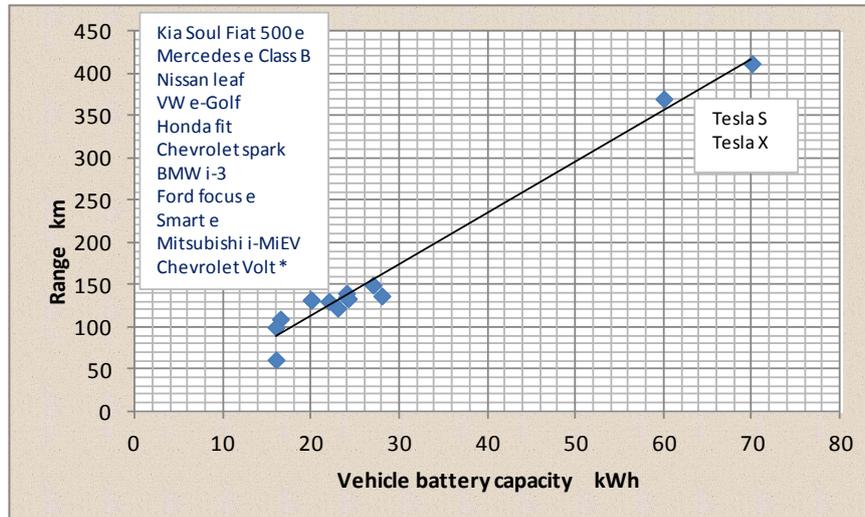


Figura 1 – Autonomia in funzione della capacità di accumulo dei veicoli elettrici

Le batterie Li-ioni si prestano a tipologie di ricarica in grado di accettare alti livelli di corrente e conseguentemente si possono attuare strategie di ricarica veloce in grado di rifornire di energia il veicolo in tempi contenuti ( 20- 30 minuti) rispetto alla tradizionale ricarica domestica ( 7- 8 ore). Capacità e velocità in ricarica sono indubbiamente complementari e forniscono l'opportunità di sfruttare pienamente il veicolo elettrico sia quando la distanza giornaliera percorsa è inferiore all'autonomia del veicolo che in condizioni di maggior tragitto grazie alla ricarica intermedia, impiegando le soste del veicolo nell'arco della giornata o durante il tragitto. Queste operazioni di ricarica intermedia svolte mettendo a frutto le occasioni di fermata durante l'arco della giornata è stata individuata [ 5] come una possibile soluzione per il superamento dell'ansia da autonomia. Infatti, analizzando quante volte in un anno i veicoli elettrici oggetto della ricerca si sono trovati in condizioni di accumulo al livello minimo di SOC, è stato evidenziato che non esiste una soluzione ottima capace di annullare lo stress da autonomia agendo solo sul fronte della capacità dell'accumulo ma è importante incrementare il numero di stazioni di ricarica per una ricarica veloce. Pertanto il successo dell'elettromobilità sembra legato alla capacità di rispondere alla richiesta di mobilità offrendo una rete di stazioni di ricarica lenta e veloce ed un ventaglio di modelli di veicoli adatti ai reali profili di uso in ambito urbano.

### 1.1 Il Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricarica Elettrica

La disposizione di una idonea rete di ricarica è una priorità riconosciuta ormai a livello nazionale consolidatasi nella redazione ed approvazione del Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricarica (PNIRE) [ 6]. Il piano prende forma dal recepimento di alcune azioni di carattere comunitario che sono state poste in atto per facilitare la diffusione dell'elettromobilità all'interno del territorio dell'Unione Europea. In particolare le mosse iniziali hanno preso spunto da:

- **Strategia "Europa 2020"** che mira alla promozione dei veicoli a basso impatto ambientale ("green vehicles"), anche attraverso lo sviluppo della rete infrastrutturale di supporto, per un uso efficiente dell'energia a garanzia della sicurezza energetica;
- **Strategia "Trasporti 2050"** per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti dai trasporti ( -60%) attraverso lo sviluppo dei trasporti elettrici ed a basso impatto e la loro diffusione nei paesi dell'UE;

- **Direttiva 2014/94/CE** per la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, ivi compresa l'alimentazione elettrica, attraverso un quadro strategico nazionale, con un numero adeguato di punti di ricarica accessibili al pubblico entro il 31 dicembre 2020. Questo in modo da garantire che i veicoli elettrici circolino almeno negli agglomerati urbani/suburbani e in altre zone densamente popolate. La numerosità di tali punti di ricarica è stabilita tenendo conto anche del numero stimato di veicoli elettrici che saranno immatricolati entro la fine del 2020.

In particolare la Direttiva 2014/94 considera l'uso dell'energia elettrica particolarmente idoneo a favorire lo sviluppo di una mobilità pulita negli agglomerati urbani. La crescita di una rete di infrastrutture di ricarica dovrebbe basarsi su specifiche tecniche comuni ai vari Stati in modo da favorire lo sviluppo economico del settore. Il documento preparatorio [ 7] per la stesura della direttiva indicava un certo numero minimo di punti di ricarica per paese ( per l'Italia si manifestava la cifra di 1,255,000 punti di ricarica) di cui almeno il 10% doveva essere accessibile a tutti. La stesura finale della direttiva non indica in modo palese il numero di punti di ricarica da installare entro il 2020 non vincolando in modo specifico i singoli Stati ma suggerisce, a titolo esemplificativo, che il numero medio di punti di ricarica potrebbe essere di 1 ogni 10 veicoli elettrici circolanti.

Il recepimento delle indicazioni comunitarie ha condotto alla redazione del PNIRE che evidenzia la necessità di adeguare la rete di distribuzione, *“potenziandola ove necessario”*, per la realizzazione di apposite stazioni di ricarica in modo da favorire la diffusione dei veicoli elettrici. Unitamente a queste indicazioni sulla necessaria crescita della rete di ricarica si sottolinea la predisposizione delle infrastrutture per operare anche in stretta interazione con la rete elettrica per contribuire alla stabilità della rete ( V2G) e l'utilizzo di tecnologie di tipo *“smart”* per la gestione della rete e delle politiche di mercato. In Figura 2 è riportata la classificazione della tipologia di ricarica in funzione della *“velocità”* di ricarica come indicato nel PNIRE.

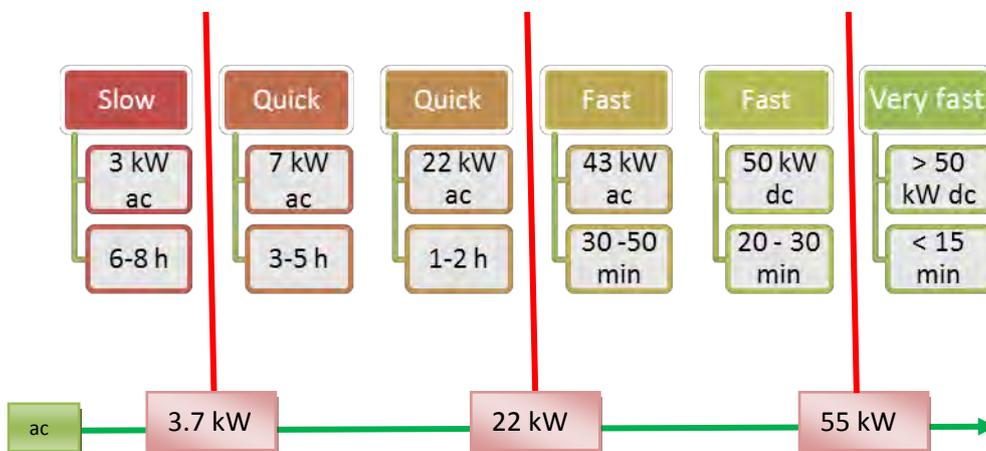


Figura 2 – Classi di infrastrutture di ricarica

Il PNIRE affronta il tema della localizzazione delle strutture ed individua nel breve periodo la priorità della diffusione dei punti di ricarica all'interno delle aree urbane per far fronte anche ai fenomeni di pendolarismo. In un secondo tempo si prevede di operare sul traffico extra-urbano anche con lo sviluppo di aree di ricarica di tipo *“fast”*. In questo secondo caso si suggerisce l'utilizzo di aree presidiate come ad esempio i distributori di combustibili già esistenti o la creazione di apposite aree sorvegliate da personale. Il rapporto tra punti di ricarica *“slow”* e *“fast”* è lasciato non indicato rinviando alla fase progettuale la scelta in relazione alle motivazioni di utilizzo. Altresì non viene indicato il numero di punti di ricarica previsti entro il 2020 ma si recepisce il vincolo del 10% di strutture aperte a tutti.

Una tassello importante per l'ampliamento della mobilità elettrico e della relativa rete di ricarica discende dalle indicazioni europee, che mirando a ridurre le emissioni di gas serra fissano l'obiettivo del 10% di quota di energia rinnovabile da dedicare al trasporto. In questo contesto appare di interesse la disposizione delle fonti rinnovabili all'interno delle strutture di ricarica in modo da avere una integrazione diretta dell'energia necessaria alle operazioni di ricarica.

## 1.2 Infrastrutture di ricariche : quante, quali e dove ?

La crescita della mobilità elettrica è strettamente correlata alla presenza di strutture di ricarica adeguatamente diffuse sul territorio in modo da soddisfare le esigenze di rifornimento elettrico dei veicoli circolanti. La numerosità dei punti di ricarica deve rappresentare il giusto risultato di equilibrio tra l'esigenza di spostamento e la disponibilità di accesso al momento opportuno. Le infrastrutture private sono quelle che normalmente afferiscono al concetto di ricarica domestica consentendo il posizionamento del veicolo in ricarica durante le soste casalinghe (tipicamente la notte). I punti di ricarica pubblici hanno un aspetto maggiormente articolato in quanto possono differire per taglia in ricarica, per utilizzo del mezzo e per durata della sosta. La ricarica "fast" è indicata, ad esempio, in punti presidiati ed ad alta frequentazione in modo da avere il punto sempre disponibile a fine carica per un successivo cliente. La ricarica "slow" potrebbe essere individuata in zone di parcheggio di scambio, dove l'occupazione dello stallo non crea problemi sulla disponibilità dei punti. Il posizionamento geografico dei punti di ricarica deve anche procedere attraverso tecniche di ottimizzazione che tengano conto delle origini e destinazioni dei mezzi ma anche dei tragitti eseguiti che possono differire in consumo [ 8].

La progettazione ottima dell'infrastruttura di ricarica può essere quindi effettuata attraverso procedure di minimizzazione delle risorse, individuando gli attrattori che possono determinare la sua localizzazione fisica. Numerosità e tipologia devono essere prese in esame attraverso l'analisi dell'uso del veicolo, soprattutto ponendo sotto la lente lo spazio percorso ed i tempi di sosta. Questo può avvenire tramite lo studio delle percorrenze che gli autisti fanno giornalmente con il loro veicolo. La conoscenza dei dati relative ai profili di utilizzo dei veicoli in ambito urbano si palesa molto utile nelle operazioni di analisi delle percorrenze e delle soste. Questa conoscenza di tipo longitudinale, ossia su un periodo temporale lungo, ci consente di superare le polarizzazioni dovute all'istante di rilevamento e viene indicato come buona pratica nelle operazioni di rilevamento degli usi quotidiani dei veicoli. Se è vero che disporre dei dati veicolari per un intero mese è molto utile per fare delle buone analisi, averle per la durata di un intero anno però è di gran lunga molto più importante specialmente se l'interesse è concentrato più sul veicolo che sul traffico. Infatti durante l'anno l'utilizzo del veicolo può essere soggetto a diversi cambiamenti. Il primo è dato indubbiamente dal periodo delle ferie che sicuramente ne modifica l'utilizzo sia nella frequenza e sia nella lunghezza degli spostamenti. Inoltre si potrebbe riscontrare un diverso utilizzo del veicolo anche passando dalla stagione calda a quella fredda. Disponendo dei dati sulle percorrenze dei veicoli, per un intero anno, è possibile fare previsioni molto affidabili sulla penetrazione del veicolo elettrico.

Le previsioni di diffusione del veicolo elettrico appaiono confortanti a livello mondiale e le grandi case automobilistiche sono confidenti nel raggiungere a breve ottime performance in termini di vendite. ACEA riporta l'opinione di diversi stakeholders che prevedono una crescita al 2020 della quota di mercato dei veicoli elettrici tra il 2% e l'8% [ 9]. In [ 10] la stima di nuovi veicoli elettrici viene indicata tra il 3 ed il 10% al 2025 ( pari a 450,000 – 1,500,000 nuovi veicoli) da parte dei costruttori mentre stime più contenute da parte del mondo della ricerca indicano una vendita compresa tra il 6-8%. In Figura 3 è riportato il grafico delle percentuali di crescita secondo le previsioni di Arup-Cenex, BCG, Berger, Cheuvreux, Deutsche Bank, Frost & Sullivan and McKinsey per veicoli elettrici ed ibridi plug-in. Prendendo come riferimento le cifre dei veicoli venduti nel 2013 [ 11], riportati in Figura 4, si vede che in Europa le nuove registrazioni, per i veicoli passeggeri, sono state 11.9 milioni, per cui, le stime ipotizzate del 2% ÷ 8% portano ad un numero di nuovi veicoli elettrici compreso tra 240,000 e 952,000 ipotizzando il livello di vendite 2013.

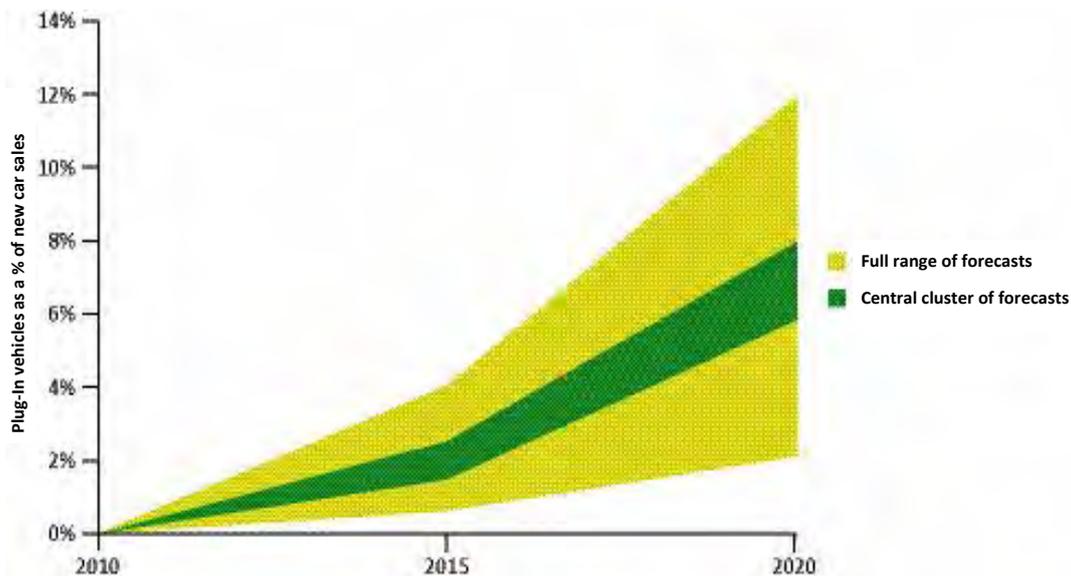


Figura 3 – Previsioni di mercato per veicoli “Plug-in nel periodo 2015 – 2020 [ 10]

NEW REGISTRATIONS		2013		
Total motor vehicles (World)		2013	85.6	m units
Total motor vehicles (EU27)		2013	13.6	m units = 16% of worldwide MV registrations/sales
Total passenger cars (World)		2013	73.1	m units
Total passenger cars (EU27)		2013	11.9	m units = 16% of worldwide PC registrations/sales
Diesel (Western Europe)		2013	59	%

Figura 4– Vendite autoveicoli 2013

Allo stato attuale le cifre sulla diffusione dei veicoli elettrici in Europa riportano nuove immatricolazioni nel 2014 per 58,244 autoveicoli con un +73% rispetto al 2013 ( 33,624 autoveicoli) [ 12]. L’Italia mostra un trend in crescita come riportato in Figura 5 ma i numeri assoluti sono ancora abbastanza piccoli. Se poi si riferiscono al totale degli autoveicoli venduti la percentuale degli elettrici raggiunge soltanto lo 0.1 %.

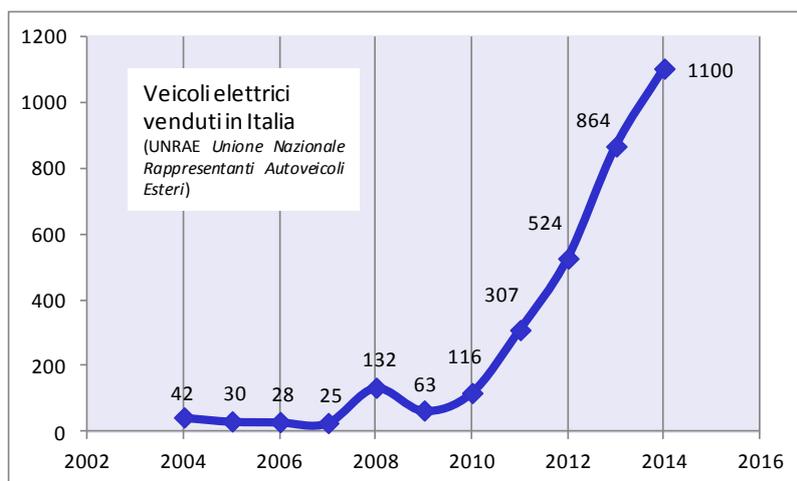
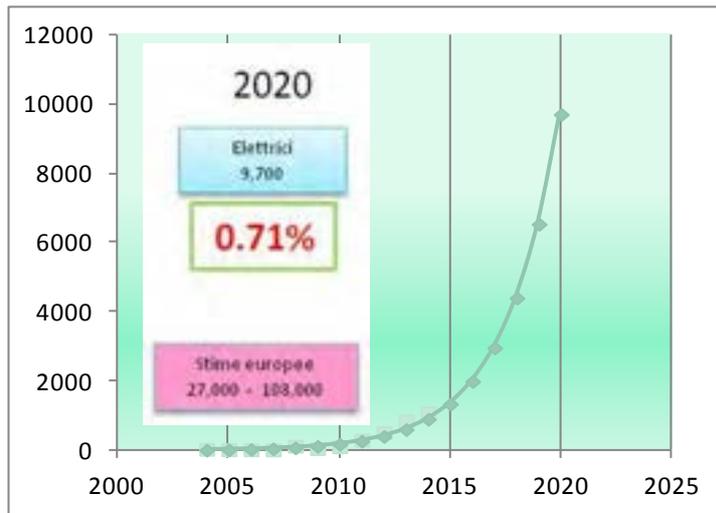


Figura 5 – Vendite autoveicoli elettrici in Italia

Se si utilizza lo stesso trend di crescita di Figura 5 si stimano vendite al 2020 per quasi 10,000 autoveicoli elettrici come indicato in Figura 6 ( lo 0.71% del mercato attuale degli autoveicoli). Utilizzando le più favorevoli indicazioni europee si potrebbero avere tra 27,000 e 108,000 nuovi veicoli elettrici.



**Figura 6 – Vendite stimate autoveicoli elettrici in Italia**

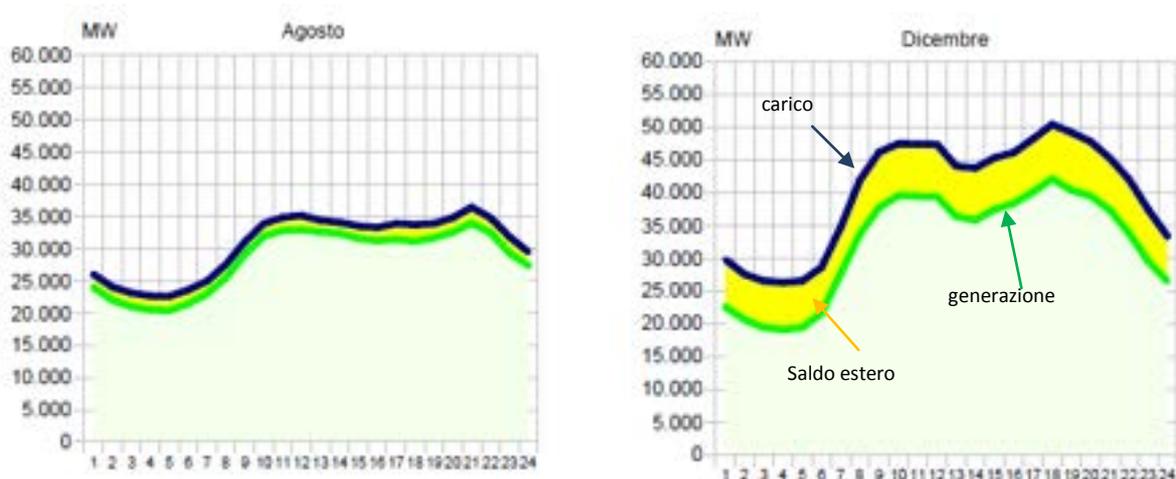
La sfida è stata lanciata e le condizioni che possono favorire la vittoria si possono trovare all’interno di una adeguata rete di ricarica che possa ridurre le paure legate alla limitazione delle prestazioni in autonomia. Il PNIRE fornisce una serie di obiettivi intermedi che tendono al raggiungimento del limite di 125,000 punti di ricarica accessibili al pubblico:

**Tabella 1 – Obiettivi PNIRE: punti di ricarica pubblici**

Obiettivo 2016	90,000
Obiettivo 2017	110,000
Obiettivo 2018	130,000

Questo potrebbe coprire le esigenze del parco veicoli elettrici previsto al 2020 nelle ipotesi migliori di loro diffusione.

La quota di 130,000 punti di ricarica aperti a tutti è importante e richiede un impegno minimo in potenza di 390 MW disponibili al punto di prelievo nell’ipotesi di una ricarica lenta di 3 kW per punto di ricarica. Questa indicazione necessaria a livello di potenza richiesta sulla rete nazionale rappresenta l’1% della potenza richiesta nel mese di Agosto come riportato in Figura 7.



**Figura 7 – Carico rete elettrica nazionale 2014- dati Terna [ 13]**

La maggiore richiesta non rappresenta un ostacolo per l'aumento del carico sulla rete nell'ipotesi di potenza di ricarica impegnata di tipo lento. Diverso è il caso di impegni maggiori di potenza necessaria: ad esempio nel caso di un 20% di ricarica veloce impegnata da 55 kW avremmo un totale di 1,742 MW che possono rappresentare il 5% della potenza richiesta sulla rete. Ovviamente questo è un caso limite in cui tutti i punti di ricarica siano operativi contemporaneamente.

Un discorso differente va affrontato a livello di rete locale in quanto la disponibilità di potenza da installare potrebbe non essere congrua con le richieste. In effetti potrebbero esistere situazioni di criticità della rete che renderebbero difficile la gestione di un carico variabile come quello di un rifornimento di veicoli elettrici dotato di impianti di ricarica veloce. La discontinuità della potenza prelevata unitamente alle difficoltà di ampliamento della rete in taluni contesti possono essere affrontati attraverso metodiche di gestione del sistema di accumulo del veicolo e/o con l'implementazione di sistemi di ricarica multi sorgente ove il supporto di sistemi di accumulo o di generazione locale apportano il sostegno utile alla ricarica.

La creazione di una infrastruttura di ricarica è funzionale alla diffusione della mobilità elettrica ma a sua volta la mobilità elettrica interagisce con la rete di distribuzione determinandone l'ampiezza in virtù dell'utilizzo del veicolo. E' possibile valutare come la diffusione del veicolo elettrico sia sensibile al variare della potenza di ricarica e, di conseguenza alla taglia delle colonnine che costituiscono la rete di ricarica.

Questa sensibilità di penetrazione viene osservata anche variando la capacità della batteria. D'altra parte si è osservato che nel corso degli anni le batterie in dotazione al veicolo hanno avuto taglie sempre più grandi. Inoltre visto che si è avviato un mercato delle vendite dei VE, alcune case, per venire incontro alle esigenze dei clienti, tendono a fornire su richiesta batterie più grandi rispetto alla versione base.

Inoltre chi compra un VE, deve poter accettare un cambiamento d'uso del veicolo, legato alla sua limitata autonomia, rinunciando al veicolo, proprio in quei giorni in cui avrebbe difficoltà a viaggiare come VE.

La prima parte del lavoro esamina gli effetti della potenza di ricarica sulla mobilità elettrica verificando il numero di viaggi percorribili da parte di un campione di veicoli mentre la seconda parte, prendendo spunto dalle conclusioni relative alle taglie ed ai consumi, mostra come le applicazioni dei sistemi multi sorgente possono agire positivamente sul dimensionamento delle stazioni di ricarica.

## PARTE I

### 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Prima di utilizzare i dati, è stata fatta un'analisi per verificarne la loro coerenza. Le incongruenze recuperabili sono state corrette mentre quelle irrecuperabili sono state risolte eliminando tutti i dati dell'intero veicolo.

Si è quindi scelto il VE a cui far riferimento per poter disporre dei parametri necessari per l'analisi.

Quindi si sono simulati i viaggi, ottenuti dai dati a disposizione, come se i veicoli circolanti fossero dei VE con le stesse caratteristiche del veicolo preso a riferimento. Si sono quindi stabilite le condizioni di ricarica per poter simulare l'andamento dello stato di carica della batteria durante tutto l'anno. Infine si sono selezionati i veicoli tra quelli che non hanno avuto nessun problema nell'intero anno e quelli in cui almeno una volta la batteria si è scaricata, prima della fine del viaggio. Questi ultimi poi sono stati suddivisi in base al numero di giorni all'anno in cui si è presentato il problema di carica insufficiente.

Le prove sono state ripetute per 4 diverse capacità di batterie e per quattro differenti potenze di ricarica.

#### 2.1 Considerazioni generali

Visto la scarsissima diffusione delle stazioni di ricariche superveloci, che consentono anche una ricarica durante il viaggio, si ipotizza che la ricarica sia fatta esclusivamente durante la sosta. Visto che l'autonomia

degli attuali veicoli elettrici non è in generale elevata, sarebbe utile ricaricare la batteria ad ogni sosta di adeguata durata. Questa cosa però è poco verosimile perché finisce per richiedere più ricariche giornaliere finendo per diventare un vero fastidio perché oltre a connettere e disconnettere i cavi elettrici si deve anche parcheggiare in posti che non sempre coincidono con il luogo desiderato.

Pertanto per la ricarica, oltre alla condizione di sosta di adeguata durata, si aggiunge l'ulteriore condizione che la batteria abbia raggiunto un certo livello di scarica. Questa seconda condizione, anche se può ridurre la stima sulla penetrazione del veicolo elettrico, si rende necessaria perché rende l'analisi sicuramente più realistica. Considerando la ridotta autonomia del veicolo elettrico si stabilisce che la ricarica della batteria avviene quando la sua capacità scende al disotto del 70 % della sua carica utile.

Per quanto riguarda l'efficienza di ricarica si considera anche il rendimento del convertitore, oltre a quello del ciclo completo di carica-scarica della batteria, e si fissa il rendimento complessivo delle ricariche elettriche pari al 90 % per quelle lente e all' 85 % per quella veloce.

Inoltre si ipotizza che nella sosta in cui si verificano le condizioni per la ricarica, sia presente e disponibile la colonnina per la ricarica della potenza prestabilita.

Inoltre il tempo disponibile della ricarica è ridotto di 4 minuti, rispetto alla durata sosta, per considerare i tempi aggiuntivi necessari per l'operazione di attacco e distacco dei cavi.

## 2.2 Descrizione dei dati campione

Le analisi descritte nel presente documento si basano su una grande quantità di dati di monitoraggio veicolare acquistati dalla compagnia Octo Telematics [ 15], società leader a livello mondiale nella gestione di applicazioni telematiche nel settore delle assicurazioni auto. Sui veicoli assicurati è installato un dispositivo chiamato Clear Box, una sorta di scatola nera contenente un localizzatore GPS, un accelerometro per la rilevazione dei crash 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).

Il dataset estratto dal database Octo Telematics si riferisce all'intero anno 2013, per un sottoinsieme di circa 30,000 veicoli ad uso privato equipaggiati con il dispositivo Clear Box ed assicurati in provincia di Roma. L'individuazione dei veicoli interessati è stata effettuata in funzione del luogo dove risiede l'agenzia presso cui è assicurato il veicolo. Per veicoli ad uso privato si intende che dal campione estratto sono stati eliminati i veicoli commerciali associati a partite IVA. I dati di monitoraggio dei veicoli sono completi, senza limiti di estensione ( Figura 8 e Figura 9) .

I dati sono stati forniti nel formato csv (formato testo con campi separati da virgola) e sono dati grezzi, quindi contenenti tutti gli errori che inevitabilmente si verificano nella fase di monitoraggio. Il numero totale di records è pari a 430,144,027 per un numero di 30,396 veicoli monitorati.

I campi del record sono riportati in Tabella 2.

**Tabella 2 – Campi del record**

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



Figura 8 – Tracce GPS 12 Febbraio 2013



Figura 9 – Tracce GPS 18 Agosto 2013

L'affidabilità dei dati misurati dipende strettamente dalla qualità di ricezione del segnale GPS, che può risultare bassa quando il veicolo si mette in moto ed è richiesto più tempo per il calcolo della prima localizzazione (il *Fixing*), in presenza di "canyon" urbani, quali vie strette o viali notevolmente alberati, o nel caso di parcheggio all'interno di un garage. In condizioni ottimali di ricezione la precisione spaziale è dell'ordine di 10 metri, mentre in condizioni di segnale non buono si può arrivare ad un errore di oltre 30 metri.

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 dispositivi 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). Successivamente, dall'aggregazione delle singole posizioni viene calcolata, per ogni veicolo, la sequenza dei singoli viaggi intervallati dalle soste che separano un viaggio dal precedente. Per viaggio si intende lo spostamento che inizia con un'accensione del motore e termina con uno spegnimento. Durante il calcolo vengono filtrati tutti gli errori dovuti a perdite del segnale GPS o a dati inconsistenti. I risultati dell'elaborazione sono archiviati nella Tabella 3 (PuntiViaggio), Tabella 4 (Viaggi) e Tabella 5 (Soste).

Al termine del processo rimangono nel database 391,161,607 records (il 91% dei 430,144,027 records grezzi) e 30,091 veicoli (il 99% dei 30,396 veicoli iniziali).

Come esempio del contenuto del database, nella Figura 8 e Figura 9 sono rappresentate le tracce GPS estratte dall'archivio e relative ai giorni 12 Febbraio e 18 Agosto 2013. Si può notare la grande variabilità delle percorrenze dovuta ad effetti stagionali come si vede in Tabella 6.

Il passo successivo è stato l'individuazione dei luoghi di residenza dei proprietari dei veicoli. Analizzando le soste notturne ricorrenti e mediante tecniche di clustering spaziale sono state calcolate, per ciascun veicolo e con un certo grado di approssimazione, le coordinate dei luoghi di residenza (Figura 10). La stessa procedura ha permesso di individuare anche eventuali seconde case ed i luoghi di villeggiatura (Figura 11). Per 224 veicoli non è stato possibile individuare la residenza, e quindi sono stati eliminati dal database. Il numero dei veicoli finale risulta pari a 29,867.

**Tabella 3 – Punti Viaggio**

NOME	DESCRIZIONE
<i>Id_puntoTerm</i>	Codice identificativo del punto GPS (univoco per veicolo)
<i>Id_viaggio</i>	Codice identificativo del viaggio (univoco)
<i>Id_terminale</i>	Codice identificativo del veicolo (univoco)
<i>nViaggio</i>	Numero d'ordine del viaggio
<i>nPuntoV</i>	Numero d'ordine del punto nel singolo viaggio
<i>DataOraLoc</i>	Timestamp del punto (tempo locale)
<i>LonWGS84</i>	Coordinata Longitudine del punto (WGS84)
<i>LatWGS84</i>	Coordinata Latitudine del punto (WGS84)
<i>XUTM32</i>	Coordinata metrica X nel sistema UTM 32 WGS84
<i>YUTM32</i>	Coordinata metrica Y nel sistema UTM 32 WGS84
<i>Velocita</i>	Velocità istantanea acquisita dalla OBU (On Board Unit)
<i>Direzione</i>	Direzione acquisita dalla OBU (0 corrisponde a Nord, 90 a Est)
<i>Qualità</i>	Codice qualità segnale GPS (1 assente, 2 scarso, 3 buono)
<i>PanState</i>	Codice stato del pannello motore (0 accensione, 1 in moto, 2 spegnimento)
<i>Distanza</i>	Distanza in metri dal punto precedente
<i>DeltaSec</i>	Differenza in secondi tra timestamp punto corrente e timestamp punto precedente
<i>Vmedia</i>	Velocità media nel tratto <i>punto - punto prec</i> ( $3.6 * Distanza/DeltaSec$ )

**Tabella 4 – Viaggi**

NOME	DESCRIZIONE
<i>Id_viaggio</i>	Codice identificativo del viaggio (univoco)
<i>Id_terminale</i>	Codice identificativo del veicolo (univoco)
<i>nViaggio</i>	Numero d'ordine del viaggio
<i>Id_puntoOrig</i>	Codice identificativo punto origine (campo <i>Id_puntoTerm</i> in tabella PuntiViaggio)
<i>Id_puntoDest</i>	Codice identificativo punto destinazione (campo <i>Id_puntoTerm</i> in tabella PuntiViaggio)
<i>ODataOra</i>	Timestamp punto origine (tempo locale)
<i>DDataOra</i>	Timestamp punto destinazione (tempo locale)
<i>Distanza</i>	Distanza totale viaggio in metri
<i>DurataSec</i>	Durata totale viaggio in secondi
<i>Vmedia</i>	Velocità media viaggio ( $3.6 * Distanza/DurataSec$ )

**Tabella 5 – Soste**

NOME	DESCRIZIONE
<i>Id_sosta</i>	Codice identificativo della sosta (univoco)
<i>Id_terminale</i>	Codice identificativo del veicolo (univoco)
<i>nSosta</i>	Numero d'ordine della sosta
<i>Id_viaggioPrec</i>	Codice identificativo del viaggio precedente
<i>Id_puntoArrivo</i>	Codice identificativo punto arrivo (campo <i>Id_puntoTerm</i> in tabella PuntiViaggio)
<i>Id_puntoPartenza</i>	Codice identificativo punto partenza (campo <i>Id_puntoTerm</i> in tabella PuntiViaggio)
<i>ADataOra</i>	Timestamp punto arrivo (tempo locale)
<i>PDataOra</i>	Timestamp punto partenza (tempo locale)
<i>DurataSec</i>	Durata in secondi della sosta

**Tabella 6 – Percorrenze dei veicoli in giorni diversi**

Data	N. veicoli presenti	Km totali	Km/veicolo
Martedì 12 Febbraio 2013	21,666	854,395	39.43
Domenica 18 Agosto 2013	16,722	1,120,157	66.98

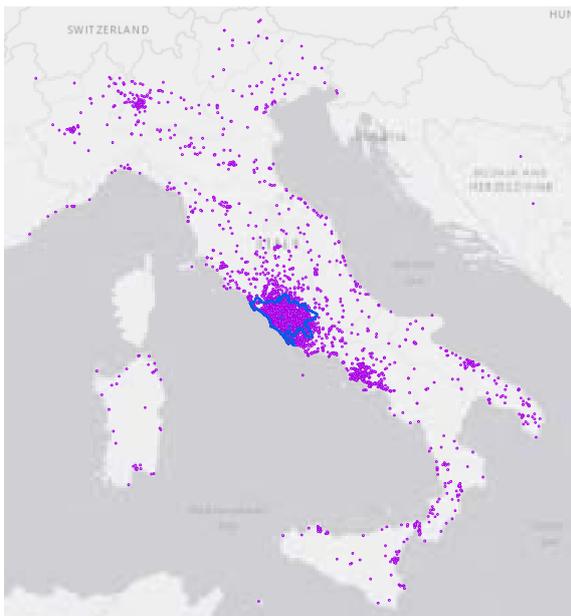


Figura 10 – Prime case

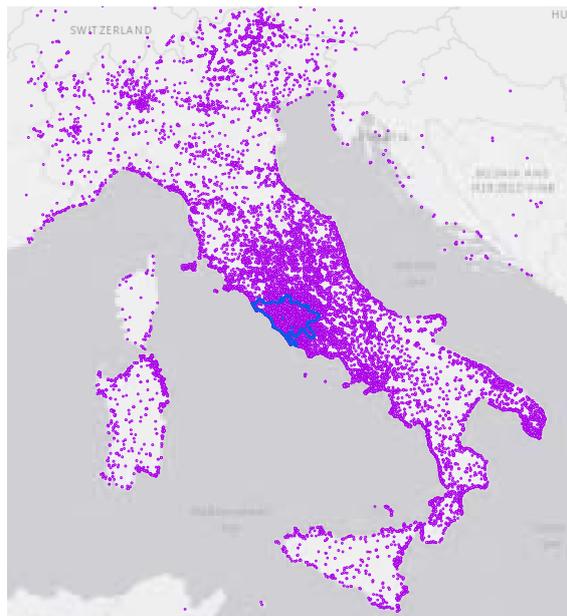


Figura 11 – Seconde case e luoghi villeggiatura

Poiché, come detto in precedenza, per estrarre dal Database il sottoinsieme dei veicoli del campione, si è tenuto conto del luogo dove risiede l’agenzia presso cui è assicurato il veicolo, non tutti i punti corrispondenti alle prime case risultano all’interno della provincia di Roma, come si può vedere nella Figura 10, dove il limite della provincia è rappresentato in colore blu. Per 3,200 veicoli (l’11 % dei 29,867) la prima casa risulta al di fuori.

Nel database così ottenuto di 29,867 veicoli si è utilizzato, per il presente lavoro, il sottoinsieme di tutti i veicoli i cui proprietari risiedono nei punti interni al comune di Roma, rappresentati in Figura 12. In particolare si tratta di un totale di 16,543 veicoli, dei quali 12,172 (viola) risiedono entro il GRA (Grande Raccordo Anulare) e 4,371 (magenta) risiedono fuori.

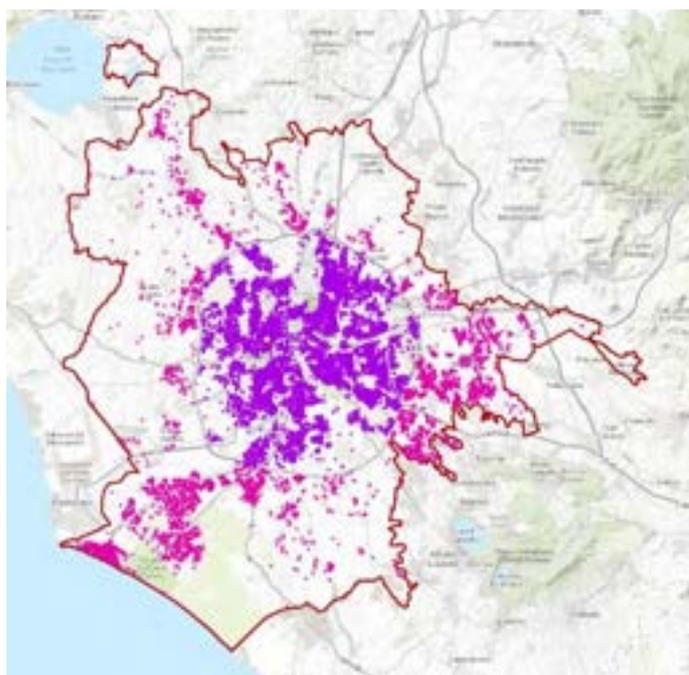


Figura 12 – Residenze interne al comune di Roma (linea rossa), del sottocampione dei veicoli selezionati

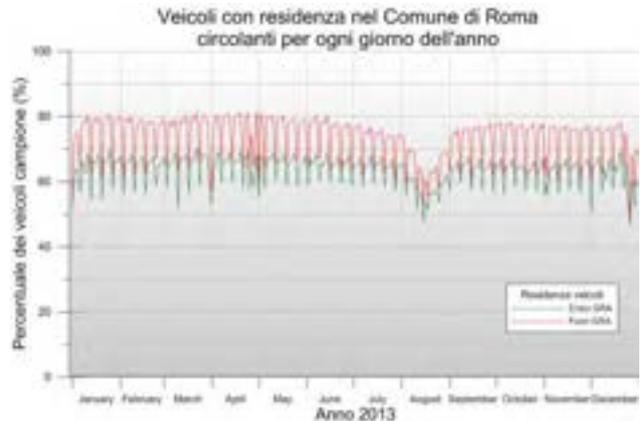
### 2.2.1 Analisi dei comportamenti di mobilità privata

In questo paragrafo vengono descritti i principali risultati dell'analisi sulle caratteristiche degli spostamenti dei veicoli privati (distanze, tempi di viaggio, raggio di mobilità, frequenza e stagionalità).

I grafici da Figura 13 a Figura 16 danno un'informazione complessiva sugli spostamenti relativi al campione nell'arco dell'intero periodo di monitoraggio, dal 1 gennaio al 31 dicembre 2013.



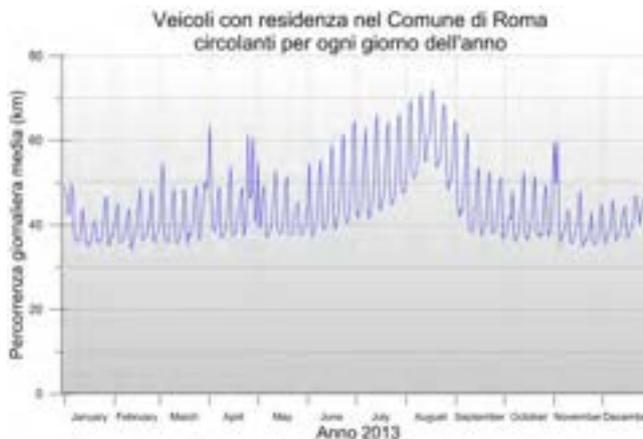
**Figura 13 – Variazione del numero dei veicoli circolanti**



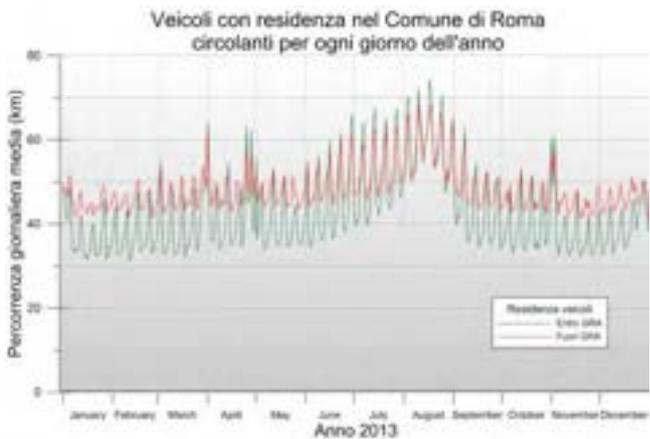
**Figura 14 – Variazione del tasso di utilizzo veicolo**

Nelle figure ogni punto delle curve rappresenta il dato corrispondente ad un giorno dell'anno 2013. In Figura 13 è riportato l'andamento del numero giornaliero di veicoli del campione circolanti, in verde quelli con residenza entro il GRA, in rosso quelli con residenza fuori GRA ed in blu la somma dei due. In Figura 14 è riportato invece l'andamento del "tasso di utilizzo" del parco veicolare, ottenuto dal rapporto tra numero di veicoli su strada e numero di veicoli del campione (12,172 entro il GRA e 4,371 fuori).

Nella Figura 15 è rappresentato l'andamento della percorrenza giornaliera media, calcolata come rapporto tra percorrenza complessiva di tutti i veicoli che si muovono in un giorno ed il loro numero. Nella Figura 16 lo stesso andamento per i due sottoinsiemi entro e fuori il GRA.



**Figura 15 – Variazione della percorrenza giornaliera media (intero comune)**



**Figura 16 – Variazione della percorrenza giornaliera media (entro e fuori GRA)**

Le oscillazioni delle curve sono dovute alla differenza di comportamento tra i giorni lavorativi ed i fine settimana. Il sabato e la domenica si muovono meno veicoli rispetto ai giorni lavorativi, ma le lunghezze degli spostamenti risultano più elevate, essendo l'uso della vettura legato ad attività ludiche o per spostarsi nelle seconde case. L'aumento delle percorrenze nei fine settimana non è omogeneo, essendo comunque condizionato dalle condizioni meteorologiche. Si notano inoltre delle irregolarità in

corrispondenza delle feste (fine ed inizio anno, Pasqua il 30 Marzo, Giovedì 25 Aprile, Mercoledì 1 Maggio, Venerdì 1 Novembre), dovute all'aumento di mobilità di tipo "turistico". Gli andamenti evidenziano la grande variabilità dovuta alla stagionalità, con un graduale aumento delle percorrenze nei mesi estivi con un picco nel mese di Agosto. Per quanto riguarda la differenza di comportamento tra chi risiede all'interno del GRA e chi risiede all'esterno, si nota per i primi un inferiore tasso di utilizzo del veicolo, dovuto alla disponibilità di alternative alla mobilità privata (trasporto pubblico di superficie, metropolitana, etc.) che gli altri non hanno. Per le percorrenze giornaliere medie, risultano in generale valori inferiori per chi risiede entro il GRA, con una inversione in corrispondenza delle festività e dei fine settimana estivi.

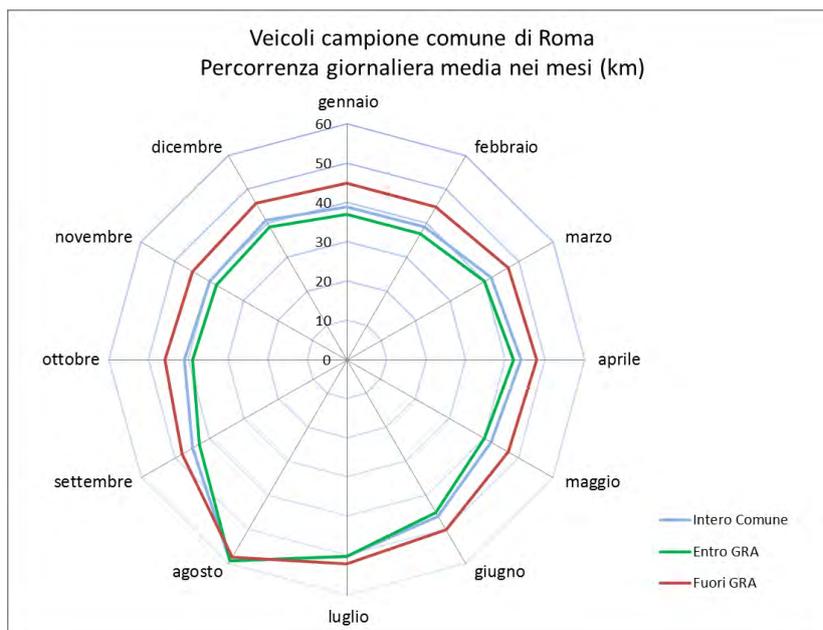


Figura 17 – Differenza tra le medie mensili delle percorrenze giornaliere dentro e fuori dal GRA

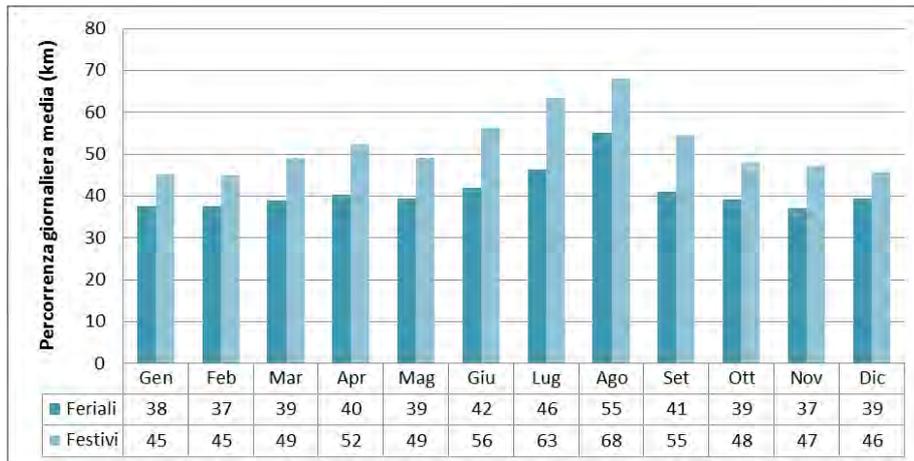
Il fenomeno dell'inversione è anche evidenziato dalla Figura 17 dove per ogni mese è riportata la media delle percorrenze giornaliere. Si può osservare che nel mese di agosto, tra i residenti dentro e fuori dal GRA, le percorrenze tendono a convergere verso lo stesso valore.

### 2.2.2 Statistiche sugli spostamenti

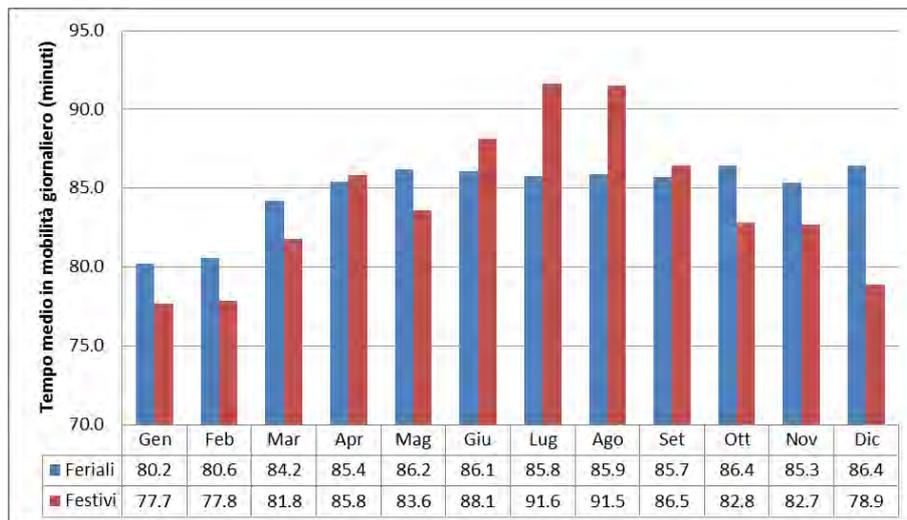
In Figura 18 sono riportate, per ogni mese dell'anno 2013, le medie delle percorrenze giornaliere effettuate dai veicoli del campione residenti all'interno del comune di Roma, per i giorni feriali e per i giorni festivi. La Figura 19 rappresenta invece, per ogni mese, il tempo medio giornaliero speso in mobilità. Facendo una media, per l'intero anno 2013, del tasso di utilizzo dei veicoli a settimana (Tabella 7), si ha una conferma di quanto detto nel paragrafo precedente, infatti risulta che l'auto mediamente viene usata per più giorni da chi risiede fuori dal Raccordo.

Tabella 7 – Numero medio giorni di uso dell'auto privata in una settimana inclusi i festivi

	RESIDENZA		
	Entro GRA	Fuori GRA	Intero comune
N. giorni a settimana	4.98	5.59	5.14



**Figura 18 – Differenze tra medie mensili, delle percorrenze giornaliere 'Feriali' e 'Festive' dei veicoli del campione**



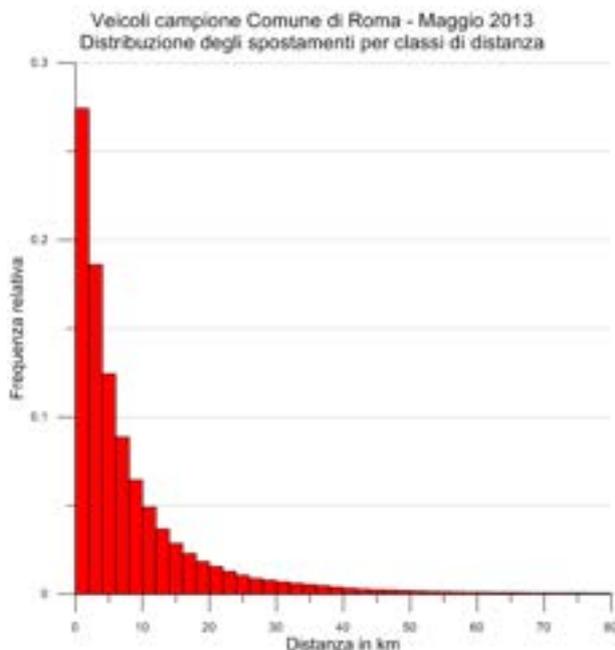
**Figura 19 – Medie mensili dei tempi giornalieri spesi in mobilità**

Per quanto riguarda la frequenza media degli spostamenti, il calcolo è stato effettuato, sempre su tutto il 2013, sui viaggi concatenati, ottenuti aggregando in un unico viaggio gli spostamenti consecutivi separati da intervalli di sosta inferiori o uguali ai 15 minuti. I risultati del calcolo sono riportati in Tabella 8, dalla quale risulta un numero medio di spostamenti maggiore per i giorni feriali rispetto ai giorni festivi e per i residenti fuori del GRA.

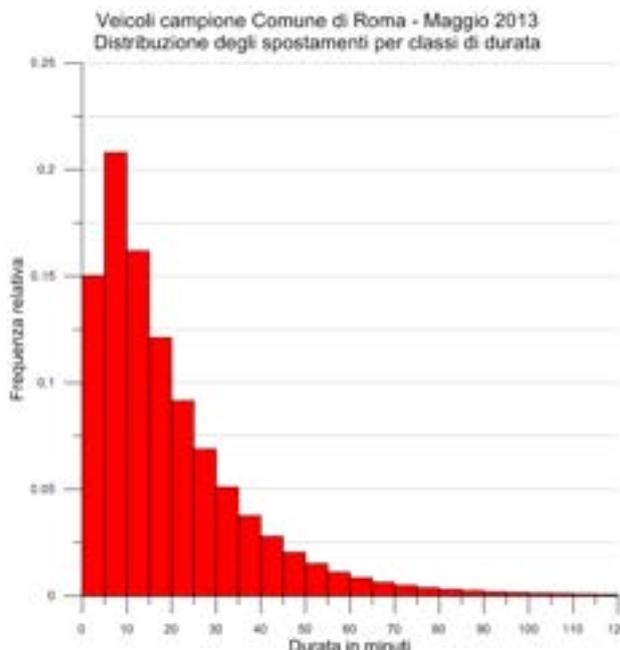
**Tabella 8 – Numero medio di viaggi effettuati in un giorno**

	RESIDENZA		
	Entro GRA	Fuori GRA	Intero comune
N. medio viaggi in un giorno feriale	3.40	3.73	3.50
N. medio viaggi in un giorno festivo	2.94	3.04	2.97

Riportiamo ora una serie di statistiche sui singoli spostamenti. Abbiamo preso in considerazione gli spostamenti effettuati dai residenti nel comune di Roma per il mese di Maggio 2013, compresi i giorni festivi. Gli spostamenti si riferiscono ai viaggi concatenati con soglia di concatenazione pari a 5 minuti. La lunghezza media, calcolata su tutto il campione, del singolo viaggio è pari a 9.9 km, e la durata media risulta 20.6 minuti. In Figura 20 è riportato l'istogramma con la distribuzione degli spostamenti per classi di distanza, con classi di ampiezza 2 km.

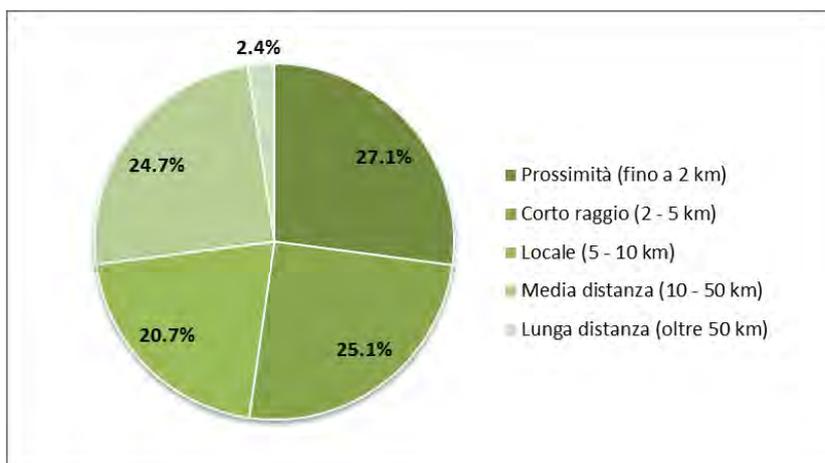


**Figura 20 – Iistogramma delle distanze degli spostamenti**



**Figura 21 – Iistogramma delle durate degli spostamenti**

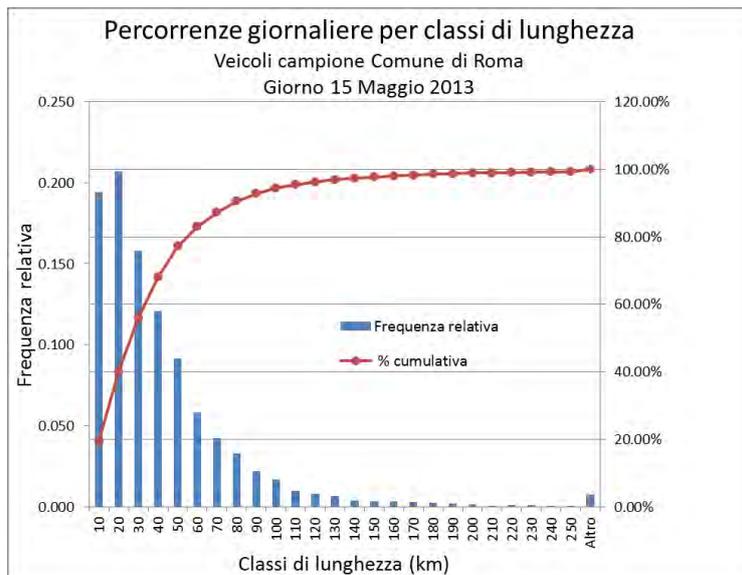
In Figura 21 è riportata la distribuzione degli spostamenti per classi di durata, con ampiezza delle classi pari a 5 minuti. Le statistiche sul raggio della mobilità (Figura 20 e Figura 22) evidenziano che la maggior parte degli spostamenti non supera i 10 km (72.9 %), mentre solo il 2.4 degli spostamenti supera i 50 km.



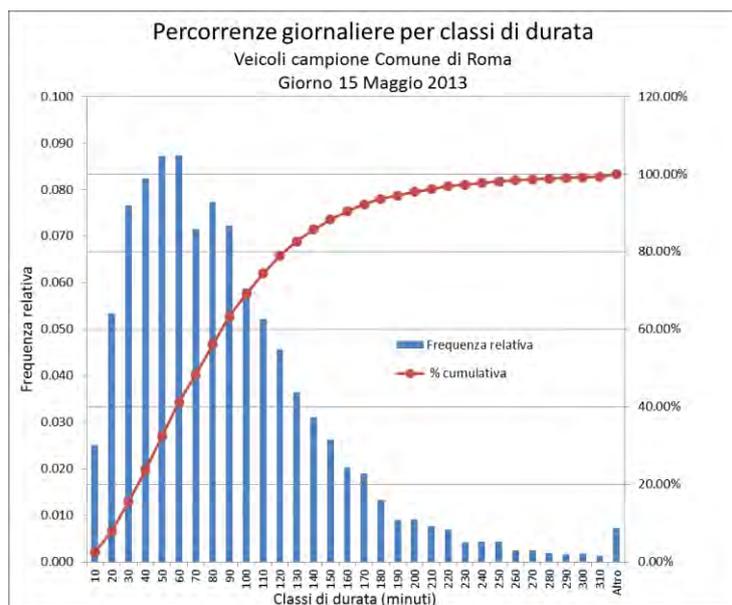
**Figura 22 – Ripartizione spostamenti per distanza**

Dopo aver analizzato i singoli spostamenti, passiamo ora a descrivere le caratteristiche delle percorrenze giornaliere, ottenute dalla somma di tutti gli spostamenti effettuati dal veicolo in un giorno. Abbiamo preso

in considerazione tutti i 16,543 veicoli del campione per una giornata feriale (mercoledì 15 Maggio). Il grafico di Figura 23 illustra la distribuzione delle percorrenze giornaliere del campione per classi di lunghezza, con ampiezza delle classi pari a 10 km. Nello stesso grafico sono rappresentate in rosso anche le percentuali cumulative. La Figura 24 rappresenta la distribuzione per classi di durata, con classi di ampiezza 10 minuti. Dalle figure emerge che il 55.9 % dei veicoli del campione il 15 Maggio percorre non più di 30 km, l'82.9 % non più di 60 km ed il 94.4 % non più di 100 km. Questi dati possono essere utili per stimare la percentuali dei veicoli che possono essere sostituiti da veicoli elettrici, ipotizzando una singola ricarica notturna. Ovviamente l'indagine dovrebbe prendere in considerazione un periodo più esteso, comprendente anche giorni festivi, nei quali abbiamo visto che si hanno percorrenze più lunghe.



**Figura 23 – Percorrenze giornaliere: istogramma delle lunghezze**



**Figura 24 – Percorrenze giornaliere: istogramma delle durate**

### 2.3 Scelta delle tipologie di veicoli elettrici

Il veicolo elettrico scelto per le valutazioni di carattere energetico è la Nissan Leaf [ 16] , mostrata in Figura 25, in quanto è uno dei VE tipo BEV (Battery Electric Vehicle) di classe media tra i più venduti nel mondo. Inoltre un tale veicolo è disponibile in Enea che ha provveduto in differenti campagne di misura a valutarne le prestazioni.

La Leaf è equipaggiata con una batteria agli ioni di Litio con una capacità di 24 kWh, è composta da 48 moduli ed ognuno di essi contiene 4 celle per un totale di 192. Oltre alla batteria principale la Nissan Leaf è equipaggiata con una batteria ausiliaria da 12 volt al Piombo-Acido che fornisce energia al computer della vettura e agli accessori quali il sistema audio, i tergicristalli e i fari.



Figura 25 – Nissan Leaf durante una fase di ricarica

La Nissan Leaf modello 2012 ha un'autonomia dichiarata di 175 km con il ciclo di omologazione NEDC ( New European Driving Cycle ). Il ciclo di omologazione NEDC [ 17] è costituito dalla ripetizione di quattro cicli "urbani", ECE-15 driving cycle, ad una velocità massima di 50 km/h ed uno extraurbano, Extra-Urban driving cycle, alla velocità massima di 120 km/h. Il consumo basandosi sull'autonomia è valutato in 137 Wh/km. Esso differisce di molto da quello fornito dall'agenzia federale americana EPA (United States Environmental Protection Agency) [ 18] che per il consumo urbano-misto-extraurbano riporta rispettivamente i valori di: 27-30-33 kWh/100 miglia [ 19] corrispondenti a 168-186-205 Wh/km. Misure eseguite sul veicolo in esame [ 20] riportano un consumo sul ciclo NEDC a 25 °C pari a 157 Wh/km. Il comportamento su strada rilevato sperimentalmente in [ 21] indica valori differenti in relazione alla tipologia di percorso variando da 110 a 147 Wh/km come percorso combinato mentre assume variazioni maggiori analizzando i tratti distintivi dei percorsi di prova ( urbano, extraurbano, autostradale, salita-discesa) passando da 98 Wh/km a 240 Wh/km. Ulteriori verifiche sperimentali su strada, sul percorso misto riportato in Figura 26 e con profilo altimetrico mostrato in Figura 27, hanno confermato i valori indicati in Tabella 9 nelle diverse configurazioni di erogazione della potenza ( Normal ed ECO).

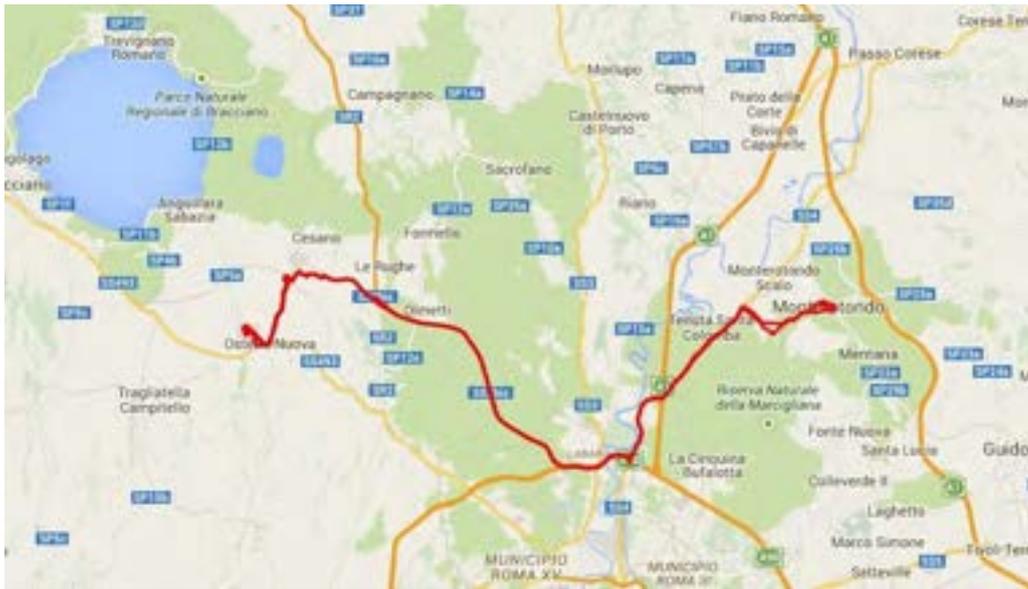


Figura 26 – Percorso di prova consumi



Figura 27 – Profilo altimetrico percorso prova

I consumi minori sono in condizione di risparmio dei consumi (ECO in grigio) i maggiori in condizioni Normal (in rosa) mentre una situazione intermedia sono quelli misti (ECO e Normal in azzurro).

Tabella 9 – Consumi in differenti condizioni

	08-Ott	09-Ott	16-Ott	17-Ott	21-Ott	22-Ott
km	48	40.83	40.46	41.01	40.41	53.69
kWh	7.32	5.26	7.26	7.82	5.32	7.86
Wh/km	152.5	128.9	179.3	190.8	131.6	146.4

Vista la sensibilità dei consumi al profilo stradale si utilizzerà un consumo indicativo di 155 Wh/km che è rappresentativo di un valore medio tra le diverse condizioni ma meglio si adatta alle condizioni di circolazione in ambito urbano. Con un consumo di tale tipo e prendendo come riferimento i 24 kWh di batteria l'autonomia massima del veicolo si attesta a 154 km. Nella realtà l'invecchiamento della batteria ed i limiti di batteria riducono al 85% la capacità utile e conseguentemente l'autonomia si riduce a 131 km.

## 2.4 Batterie e modalità di ricarica

La percorrenza giornaliera del veicolo elettrico può essere aumentata, sia sostituendo la batteria con una di maggior capacità, sia utilizzando carica batteria con potenze più elevate. Questo secondo aspetto diventa interessante specialmente durante il giorno dove le soste hanno una minor durata rispetto a quelle notturna.

Per l'analisi delle batterie si prendono in esame le batterie da 24 kWh, attualmente in dotazione della Nissan Leaf, e quella da 30 kWh prossimamente di serie sulla nuova Leaf [ 22], [ 23]. Visto che alcune case già stanno offrendo alla loro clientela la possibilità di montare batterie più grandi di quelle di serie, si sono considerate anche quelle da 36 e 42 kWh.

Per le ricariche le potenze scelte sono di 2.2 kW, equivalente alla ricarica domestica, da 3 kW come quelle offerte da diverse colonnine Enel [ 24]. Inoltre vengono considerate le potenze di 6.6 kW come quelle disponibili sulla Leaf [ 25] e la ricarica veloce da 22 kW.

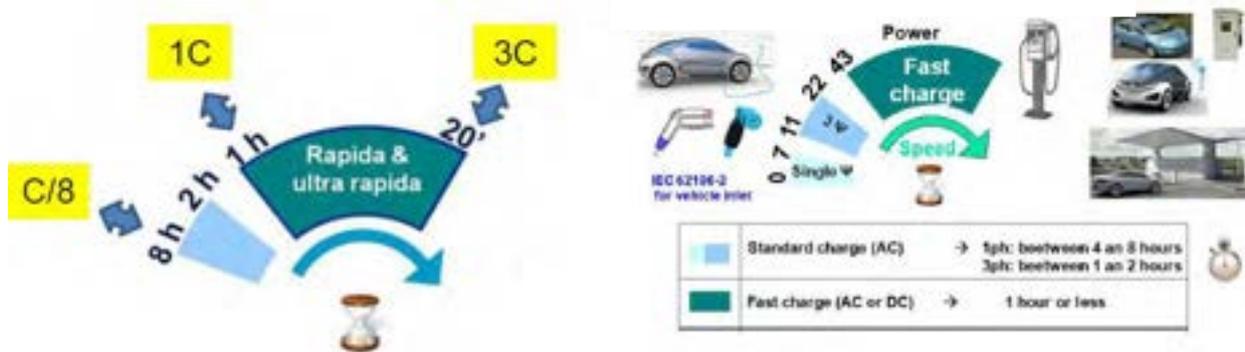


Figura 28 – Variazione della ricarica tra standard e veloce al variare della corrente di ricarica, riferita alla capacità C della batteria

Come si vede dalla Figura 28 la ricarica veloce inizia per correnti pari alla capacità della batteria (1 C), o superiori. In altre parole si parla di ricarica veloce quando la batteria tendenzialmente si ricarica in un'ora o anche meno. Quindi per definire *veloce* una potenza di ricarica occorre conoscere la capacità della batteria. Ad esempio se si utilizza una batteria da 24 kWh, si può considerare veloce una ricarica da 22 kW. Ciò non è più vero se la stessa potenza viene impiegata su batterie con capacità > 24 kWh.

Dai dati sperimentali [ 26] si è ricavato l'andamento complessivo della ricarica veloce da 22 kW fatta sulla batteria della Leaf che viene riportato in Figura 29.

Come si vede la potenza netta di ricarica si mantiene molto alta fino all'80 % circa del SOC. A questo punto il sistema di controllo della Batteria BMS per garantirne la durata riduce la potenza di ricarica. La ricarica viene arrestata automaticamente al 90 % del SOC (punto B), se il SOC iniziale era inferiore al 59 %, corrispondente al punto A della Figura 29. Negli altri casi la ricarica termina al 98.5 % del SOC corrispondente al punto C.

L'effettuazione della ricarica è legata sia alla durata della sosta e sia al SOC della batteria. Le ricariche sono possibili solo se la sosta ha una durata maggiore di 1 ora. Per non rendere la ricarica eccessivamente frequente, viene effettuata solo se al momento della sosta la batteria ha esaurito almeno 30 % della sua

carica utile. Solo per la ricarica veloce è consentito ricaricarsi a partire da soste di 30 minuti poiché questa ricarica è penalizzata dal fatto che non può ricaricare completamente fino al 100 % del SOC.

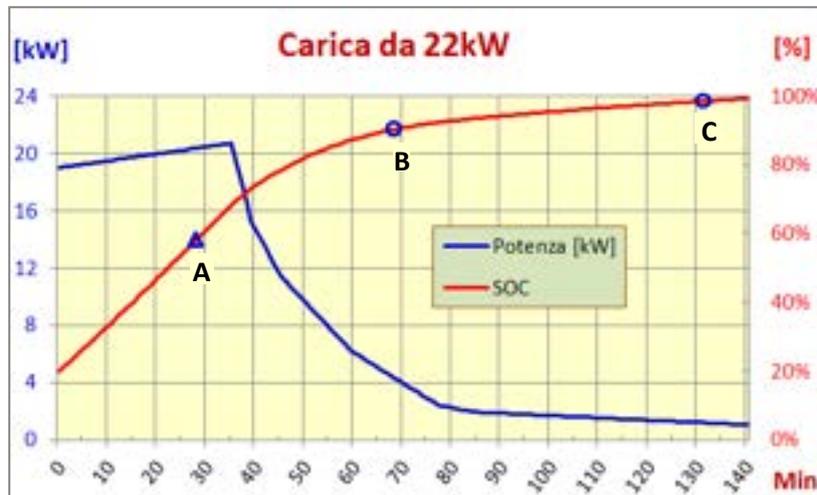


Figura 29 – Andamento, in azzurro, della potenza di ricarica del carica-batterie da 22 kWh utilizzato. In rosso l'andamento del SOC

Si cerca di superare questo handicap concedendo ricariche a partire dai 30 minuti, in considerazione anche della maggior potenza, che pur con questa breve sosta riesce a caricare dai 5 ai 10 kWh, a seconda dei casi.

#### 2.4.1 Batteria da 24 kWh

In questa prima prova viene considerata la batteria in dotazione alla Nissan Leaf dell'ENEA che è di 24 kWh. I risultati mostrati sono ottenuti ipotizzando che la batteria possa essere usata per non più dell'80% della sua capacità e con consumi di 155 Wh/km, secondo quanto misurato sperimentalmente dall'ENEA.

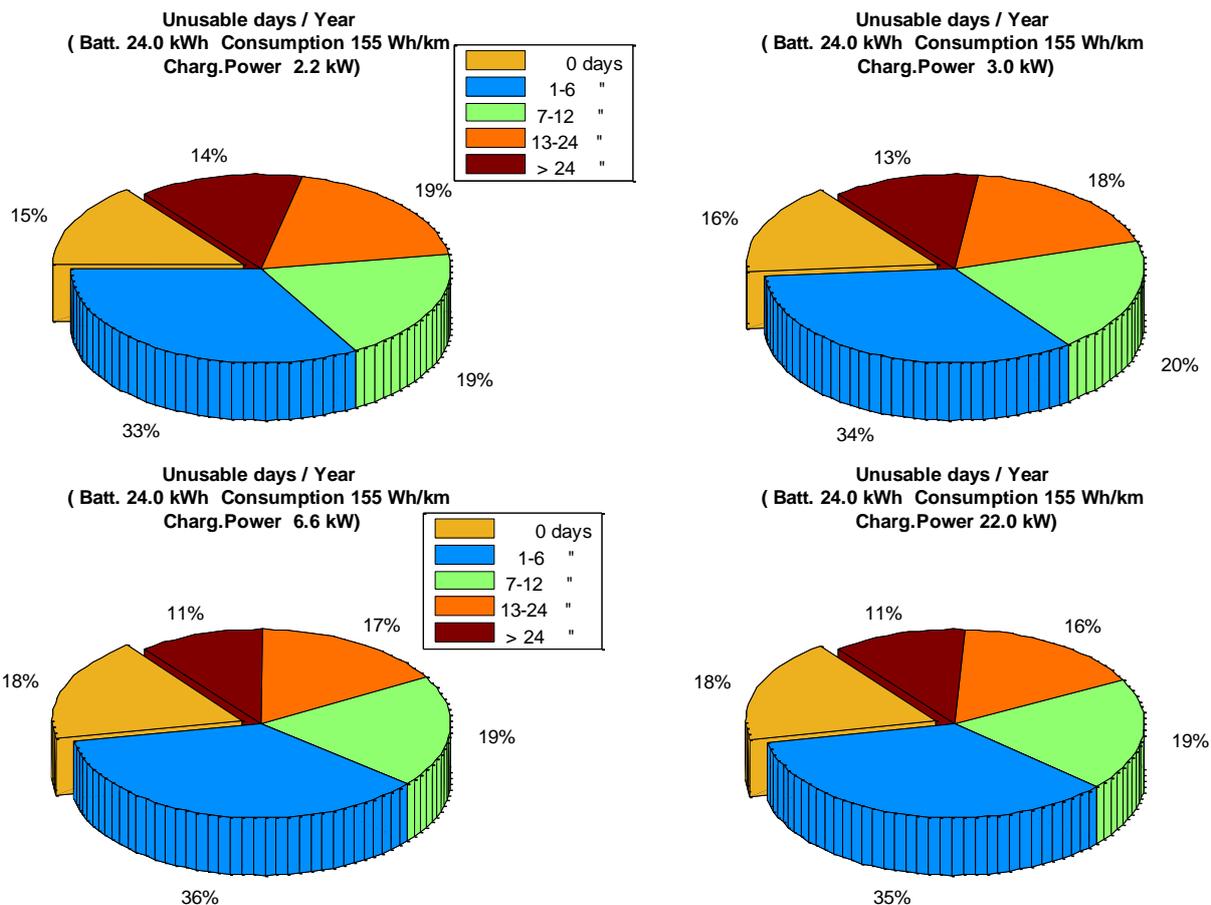
In questa prova vengono usate 4 differenti potenze di ricarica: 2.2 - 3 - 6.6 e 22 kW. I risultati vengono mostrati in Figura 30 suddivisi, in percentuale, per 5 differenti casi. Nel primo caso sono raccolti quei veicoli che durante l'anno, in tutti i giorni di utilizzo sono sempre in grado di coprire le esigenze di percorrenza richieste. Come si vede, dalla figura, questa percentuale cresce dal 15%, se si usa una ricarica da 2.2 kW, per arrivare al 18% usando sia una ricarica da 6.6 o sia una da 22 kW. Nei rimanenti casi sono raccolti i veicoli che presentano, nell'arco dell'anno alcuni giorni critici in cui il veicolo non è in grado di soddisfare la percorrenza richiesta.

Questa suddivisione è fatta raccogliendo i veicoli per i seguenti gruppi di giorni critici: da 1 a 6, da 7 a 12, da 13 a 24, per finire con i veicoli che hanno più di 24 giorni critici all'anno.

Nel giorno in cui si manifesta una incapacità a soddisfare la percorrenza giornaliera, il VE può essere sostituito da un altro veicolo di famiglia o in alternativa si può ricorrere ad un altro mezzo di trasporto. Con queste premesse se si considera accettabile una indisponibilità non più di un volta al mese la percentuale dei veicoli trasformabili in VE arriva al 67%, facendo uso di sistemi di ricarica da 2.2 kW. La stessa percentuale può salire al 73% se si utilizza la ricarica da 6.6 kW o quella veloce secondo l'andamento di ricarica descritte in Figura 29.

Infine in Tabella 10 per ogni potenza di ricarica esaminata si riporta la frequenza di ricarica indicando mediamente ogni quanti viaggi viene fatta. Inoltre si riporta la percentuale dei viaggi che si concludono con una carica della batteria inferiore a 3 e a 2 kWh che corrispondono rispettivamente ad un autonomia di 19.3 e 12.9 km fatte con guida normale.

Aumentando la potenza di ricarica oltre al vantaggio di una ricarica più veloce si ottengono altri benefici.



**Figura 30 – Percentuali di veicoli, con batteria da 24 kWh, che possono essere trasformati in elettrico in base al numero di giorni critici in cui il veicolo è inutilizzabile durante l’anno. I risultati sono ottenuti con ricariche effettuate con 4 differenti potenze: 2.2 - 3 – 6.6 e 22 kW**

Come si vede dalla Tabella 10 la ricarica avviene meno frequentemente aumentandone la potenza infatti si va da una ricarica fatta mediamente ogni 4.63 viaggi ad una fatta ogni 5.42 viaggi se la potenza di ricarica passa da 2.2 a 6.6 kW. A questa regola fa eccezione la ricarica veloce che avviene ogni 3.62 viaggi. In questo caso la frequenza di ricarica aumenta perché non si arriva mai alla ricarica completa e le condizioni di ricarica, con batteria al disotto del 70 % di carica, si ripetono più spesso.

**Tabella 10 – In corrispondenza della potenza usata per la ricarica si riportano, per una batteria da 24 kWh, la frequenza di ricarica, e la percentuale dei viaggi che si concludono con una carica utile minore di 3 e di 2 kWh**

Potenza di ricarica [kW]	Durata media della ricarica [N° viaggi]	Viaggi conclusi con meno di:	
		3 kWh [%]	2 kWh [%]
2.2	4.63	1.18	0.72
3.0	4.90	0.92	0.63
6.6	5.42	0.80	0.50
22	3.62	0.70	0.43

Diversamente le ricariche a potenze inferiori, grazie alla presenza di numerose soste lunghe, raggiungono molto spesso la carica del 100 % .

Si riscontra comunque che aumentando la potenza di ricarica si riduce la percentuale dei casi in cui si riscontrano fermate con una riserva inferiore a 3 kWh (o 2 kWh) di batteria ancora disponibile. Considerando la riserva di 3 kWh si vede che con la ricarica domestica l' 1.18 % dei viaggi si conclude al disotto di questa carica mentre adottando la ricarica veloce la percentuale precedente si riduce allo 0.70 %.

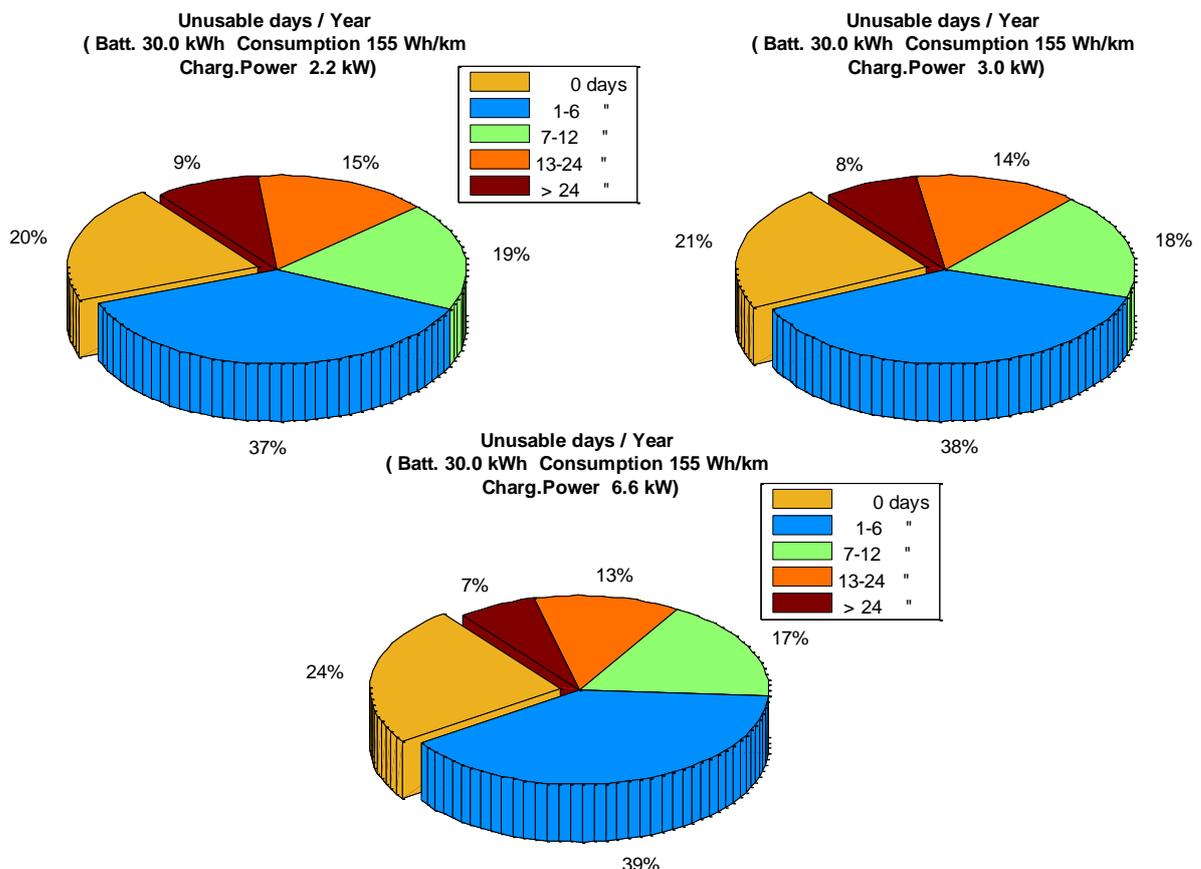
### 2.4.2 Batteria da 30 kWh

La Nissan ha annunciato che presto sarà sul mercato una Leaf che di serie monterà una batteria da 30 kWh [ 23] con le stesse dimensioni dell'attuale batteria.

Per vedere i miglioramenti prodotti con questa maggior capacità si ripetono le prove precedenti con l'esclusione della ricarica da 22 kWh. Ciò è dovuto al fatto che l'andamento della ricarica, pur utilizzando la stessa potenza di ricarica, ha però un comportamento diverso se viene usata su una batteria da 30 kWh invece di una da 24 kWh. Pertanto non disponendo della specifica curva di ricarica queste prove non saranno effettuate.

Dalla Figura 31 si vede che già con la ricarica domestica il 20 % dei veicoli, durante l'anno non ha nessun problema a circolare in elettrico. Questa percentuale sale al 24 % se si usa la ricarica da 6.6 kW.

In questo caso si riscontra un miglioramento del 30 % rispetto al paragrafo precedente.



**Figura 31 – Percentuali di veicoli, con batteria da 30 kWh, che possono essere trasformati in elettrico in base al numero di giorni critici in cui il veicolo è inutilizzabile durante l'anno. I risultati sono ottenuti con ricariche effettuate con 3 differenti potenze: 2.2 - 3 e 6.6 kW**

Inoltre se si accetta di sostituire il veicolo quando si verifica non più di una indisponibilità al mese la percentuale di veicoli trasformabili in VE sale al 76 e all' 80 % rispettivamente per le potenze di ricarica di 2.2 e 6.6 kW.

Anche qui si riscontra, in Tabella 11, un miglioramento dei viaggi che si concludono al disotto delle riserve da di 3 o di 2 kWh. Queste percentuali per la riserva da 3 kWh variano dallo 0.70 allo 0.47 % aumentando la potenza di ricarica.

**Tabella 11 – In corrispondenza della potenza usata per la ricarica si riportano, per una batteria da 30 kWh, la frequenza di ricarica, e la percentuale dei viaggi che si concludono con una carica utile minore di 3 e di 2 kWh**

Potenza di ricarica [kW]	Durata media della ricarica [N° viaggi]	Viaggi conclusi con meno di:	
		3 kWh [%]	2 kWh [%]
2.2	5.15	0.70	0.44
3.0	5.49	0.60	0.38
6.6	6.22	0.47	0.30

#### 2.4.3 Batteria da 36 kWh

Poiché nella politica delle varie case automobilistiche, compresa la Nissan, c'è la possibilità di fornire, su richiesta, batterie di maggiori dimensioni rispetto a quelle di serie vengono analizzati anche i comportamenti con batterie più grandi di quelle di serie. In questo paragrafo analizzeremo il comportamento di una batteria da 36 kWh, più grande del 50 % di quella di serie.

A partire dalla ricarica domestica, si vede dalla Figura 32, che durante l'anno il 25 % dei veicoli è sempre in grado di circolare in elettrico. Nel caso di ricarica da 6.6 kW la percentuale aumenta al 30 % .

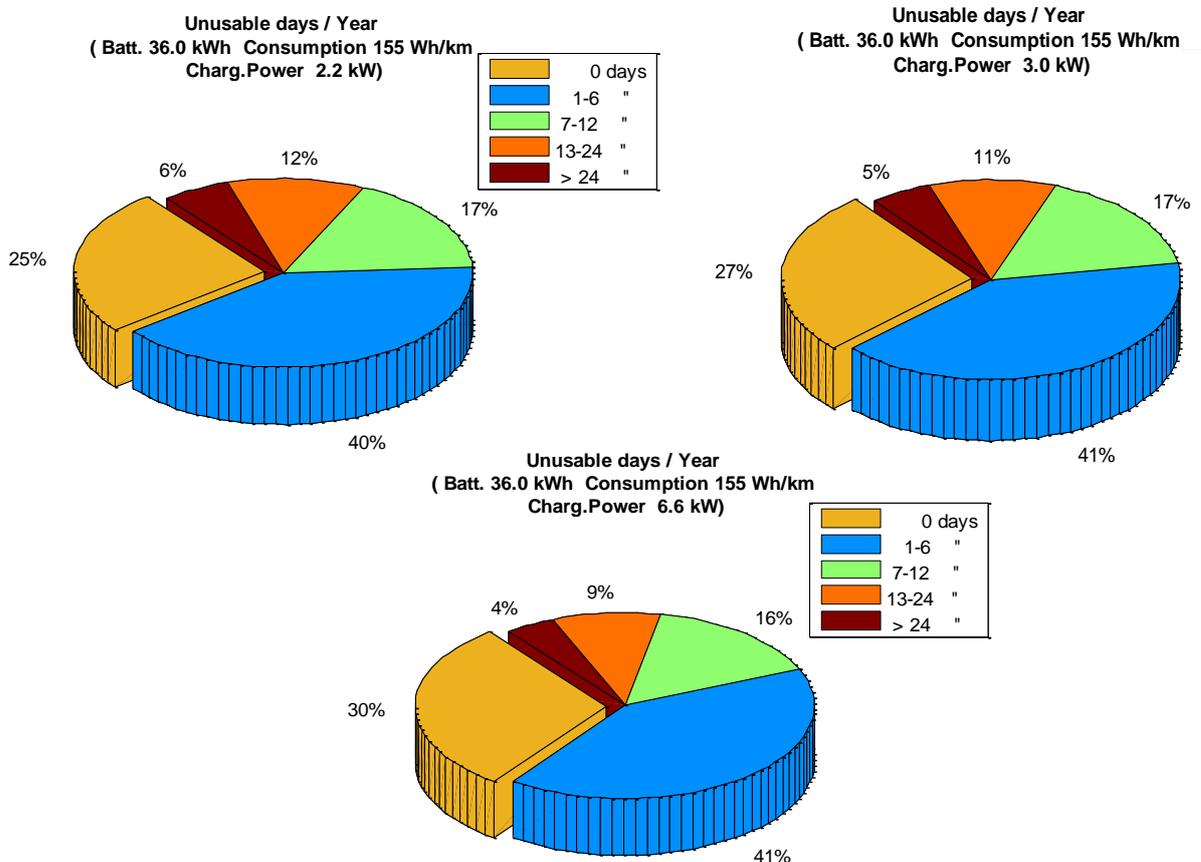
Si osserva quindi un miglioramento prossimo al 70 % rispetto alla batteria base da 24 kWh vista nel paragrafo 2.4.1.

Ipotizzando di non utilizzare il veicolo quando si verifica una criticità, per non più di una volta al mese, la percentuale di veicoli trasformabili in VE sale all' 82 e all' 87 % rispettivamente per le potenze di ricarica di 2.2 e 6.6 kW.

Anche in questo caso l'aumento della potenza di ricarica porta ad un miglioramento dei viaggi che si concludono al disotto delle riserve da di 3 o di 2 kWh come si può vedere dalla Tabella 12. Queste percentuali per la riserva da 3 kWh variano dallo 0.45 allo 0.31 %.

**Tabella 12 – In corrispondenza della potenza usata per la ricarica si riportano, per una batteria da 36 kWh, la frequenza di ricarica, e la percentuale dei viaggi che si concludono con una carica utile minore di 3 e di 2 kWh**

Potenza di ricarica [kW]	Durata media della ricarica [N° viaggi]	Viaggi conclusi con meno di:	
		3 kWh [%]	2 kWh [%]
2.2	5.62	0.45	0.28
3.0	6.03	0.39	0.25
6.6	6.95	0.31	0.20



**Figura 32 – Percentuali di veicoli, con batteria da 36 kWh, che possono essere trasformati in elettrico in base al numero di giorni critici in cui il veicolo è inutilizzabile durante l’anno. I risultati sono ottenuti con ricariche effettuate con 3 differenti potenze: 2.2 - 3 e 6.6 kW**

#### 2.4.4 Batteria da 48 kWh

In quest’ultimo caso si analizza il comportamento di una batteria da 48 kWh che è il doppio di quella attualmente fornita di serie garantendo quindi un’autonomia doppia del veicolo di serie.

Partendo dalla ricarica domestica, la Figura 33 mostra che il numero di VE in grado di circolare tutto l’anno, senza problemi, è pari al 34 % . Usando la ricarica da 6.6 kW questa percentuale arriva al 39 %.

Rispetto alla batteria di serie da 24 kWh si continua a riscontrare un ulteriore miglioramento, di poco superiore al 150 %.

Supponendo accettabile la rinuncia del veicolo, al massimo per una criticità al mese, la percentuale di veicoli trasformabili in VE sale al 90 e al 93 %, rispettivamente per le potenze di ricarica di 2.2 e 6.6 kW.

Per quanto riguarda i viaggi che terminano con una riserva di carica inferiore di 3 o di 2 kWh in Tabella 13 si riscontra che scendono a valori molto bassi. Ad esempio per la riserva da 3 kWh le percentuali variano dallo 0.24 allo 0.15 %.

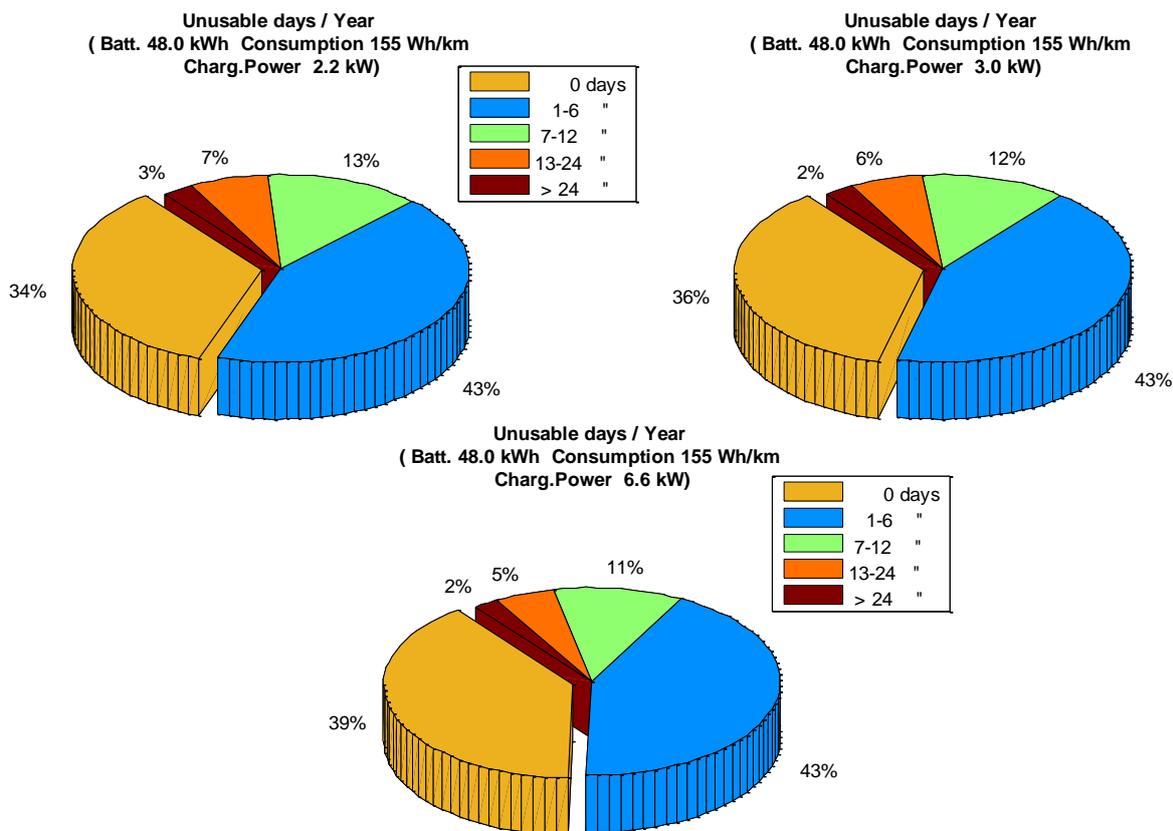


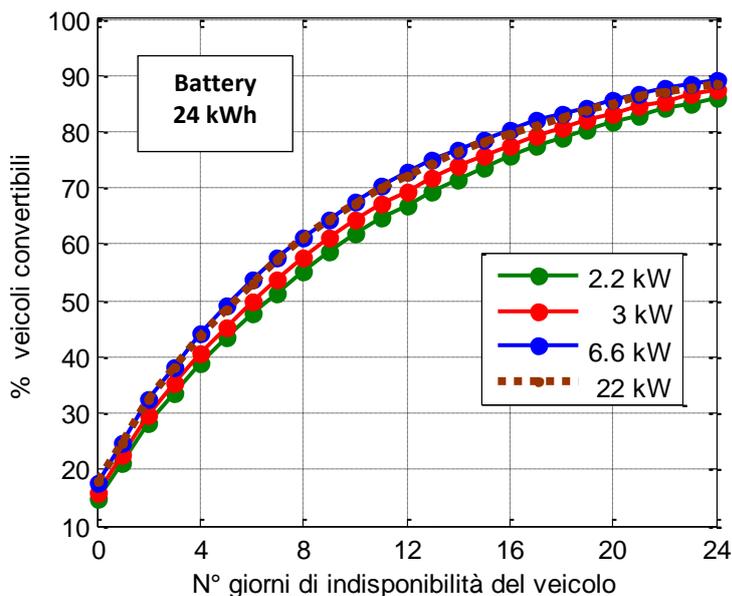
Figura 33 – Percentuali di veicoli, con batteria da 48 kWh, che possono essere trasformati in elettrico in base al numero di giorni critici in cui il veicolo è inutilizzabile durante l’anno. I risultati sono ottenuti con ricariche effettuate con 3 differenti potenze: 2.2 - 3 e 6.6 kW

Tabella 13 – In corrispondenza della potenza usata per la ricarica si riportano, per una batteria da 48 kWh, la frequenza di ricarica, e la percentuale dei viaggi che si concludono con una carica utile minore di 3 e di 2 kWh

Potenza di ricarica [kW]	Durata media della ricarica [N° viaggi]	Viaggi conclusi con meno di:	
		3 kWh [%]	2 kWh [%]
2.2	6.43	0.24	0.15
3.0	7.00	0.19	0.12
6.6	8.29	0.15	0.10

### 2.5 Sintesi sui risultati ottenuti

Dalle analisi svolte si è visto che l’utilizzo sia di sistemi di ricarica di maggior potenza o di veicoli dotati di batterie con maggior capacità aumentano la percentuale di VCI convertibili in VE. In Figura 34 si riportano le percentuali dei veicoli convertibili se venisse adottato un VE con batteria da 24 kWh. Le curve vengono proposte per le 4 differenti ricariche mostrate in leggenda. Come si vede le percentuali di conversione partono al disotto del 20 % per tutte le curve. Queste percentuali aumentano se si accetta l’indisponibilità del veicolo per i giorni in cui non è in grado di garantire la percorrenza in elettrico.

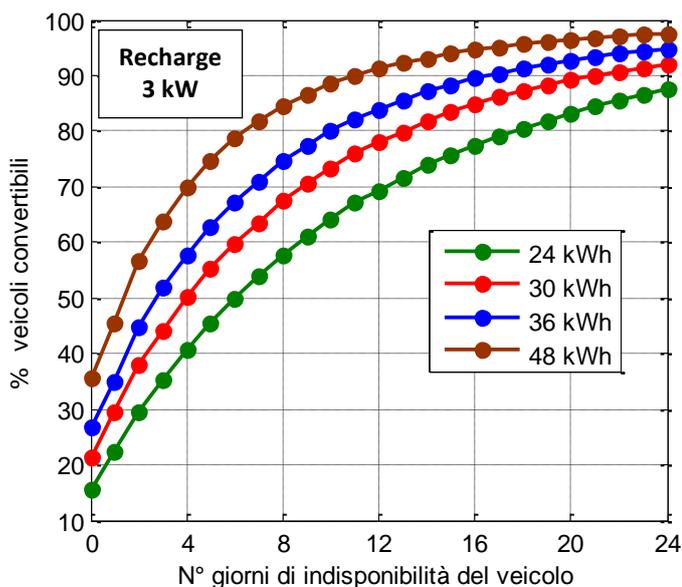


**Figura 34 – Percentuale di VCI convertibili in VE, con batteria da 24 kWh. In ascissa sono rappresentati i giorni in cui il VE non è in grado di garantire la percorrenza richiesta. A confronto le curve per 4 diverse potenze di ricarica**

Per esempio la curva con ricarica 2.2 kW, che parte da una percentuale del 15 %, può salire al 39 % se si accetta l'indisponibilità massima del VE dei 4 giorni l'anno in cui va in crisi. Se l'indisponibilità accettata è di 12 volte l'anno, ossia una volta al mese, la percentuale aumenta al 67 %.

Nella stessa figura si vede che aumentando la potenza della colonnina di ricarica le percentuali hanno un miglioramento piuttosto modesto rimanendo, nella condizione più favorevole, al disotto del 10 %.

Un andamento analogo si ha, in Figura 35, dove si confrontano le curve tracciate per le 4 differenti batterie, mostrate in leggenda, ed usando una colonnina di ricarica sempre con la stessa potenza di 3 kW.



**Figura 35 – Percentuale di VCI convertibili in VE, usando una ricarica da 3 kW. In ascissa sono rappresentati i giorni in cui il VE non è in grado di garantire la percorrenza richiesta. A confronto le curve per 4 batterie di diversa capacità**

Anche qui le percentuali di conversione aumentano se si accetta l'indisponibilità del veicolo per i giorni in cui non è in grado di garantire la percorrenza in elettrico.

Questa volta il miglioramento tra le diverse curve è molto netto. Ad esempio mettendo a confronto la batteria più grande con quella più piccola si ha un miglioramento, all'inizio delle curve, di un buon 20 % per arrivare al 30 % nel tratto compreso tra i 4 e gli 8 giorni di indisponibilità.

In particolare, accettando 12 indisponibilità l'anno del veicolo, la percentuale di conversione con la batteria da 48 kWh arriva al 93 %.

### 3 Conclusioni I

I risultati ottenuti sono incoraggianti perché, considerando la batteria da 30 kWh, che verrà montata di serie dal prossimo anno sulla Leaf, dimostrano che circa un 15 % di VCI può essere sostituito da VE senza nessun cambiamento, mantenendo esattamente lo stesso utilizzo del veicolo.

Se poi si decide di rinunciare al veicolo per almeno un certo numero di giorni l'anno in cui il VE non sarebbe in grado di garantire la percorrenza, il numero delle conversioni aumenta notevolmente. Infatti, con non più di 1 rinuncia al mese, le conversioni in VE aumentano circa al 70 %, lasciando il comportamento del veicolo invariato in tutti gli altri giorni. Questa percentuale addirittura può aumentare di un ulteriore 20 % se i proprietari di questi ulteriori veicoli decidono di montare delle batterie più grandi di quella di serie fino ad un massimo di 48 kWh.

Quindi si può concludere che già da oggi, buona parte dei veicoli in circolazione è tecnicamente convertibile in elettrico.

Quello che si riscontra è che l'aumento in capacità della batteria ha un peso maggiore dell'aumento in potenza della ricarica. Un'altra cosa interessante, osservata nell'uso delle ricariche lente, è che usando una potenza più alta si riduce la frequenza di ricarica. Ciò è sicuramente apprezzabile perché anche se la ricarica sono fatte in sosta, rimane sempre la fastidiosa operazione di inserire e togliere i cavi.

Inoltre i risultati ottenuti sono basati con ricariche non superiori a 22 kW. In futuro però, quando sulle statali o sulle autostrade le colonnine superveloci saranno più diffuse, potranno essere fatte ricariche anche durante il viaggio. Ciò aumenterà ulteriormente tutti i risultati qui mostrati sulle percentuali di conversione.

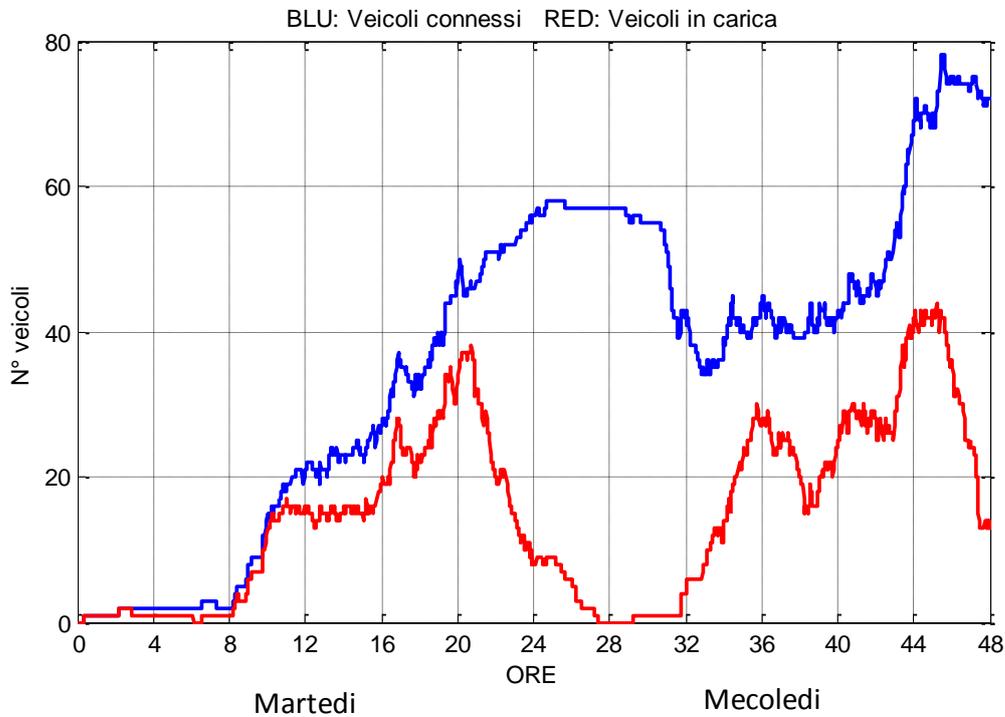
## PARTE II

### 4 Applicazione di un sistema multi sorgente per la ricarica elettrica

Basandosi sulle analisi condotte nella Parte I relativamente alla conversione possibile di veicoli convenzionali in elettrici si è considerato il consumo dei veicoli e le loro esigenze di ricarica per la determinazione di un profilo di carico che potesse rappresentare una reale situazione di richiesta in una determinata zona della città. Ai fini delle prove da eseguire su un prototipo di stazione multi sorgente si è provveduto ad estrarre un profilo di carico generale giornaliero sfruttando un insieme di veicoli afferenti ad un determinato punto di sosta. Questo ha condotto ad un grafico che attraverso fattori di scala potesse essere adottato in modo generico a taglie variabili di impianti di ricarica.

La Figura 36 mostra il profilo di veicoli in sosta nella zona di sosta-rifornimento che superano di poco le 75 unità per effetto del trascinarsi del giorno precedente in cui si è iniziato a prendere nota delle soste iniziate dopo le ore 00:00 di martedì. Più interessante è la linea rossa che ci mostra l'andamento della potenza di ricarica necessaria per i veicoli che si presentano nell'arco della giornata. Nello specifico esempio si è ipotizzato di utilizzare una ricarica lenta vista la numerosità dei veicoli che sostano e per la durata delle loro soste. Quindi potremmo ricadere nel caso di una zona di parcheggio attrezzata con numerosi punti di ricarica (almeno 80) con una potenza massima necessaria di 240 kW in caso di utilizzo

massimo contemporaneo anche se nelle condizioni di lavoro sono sufficienti 120 kW in base al profilo dei consumi e delle richieste di carica come valutato in precedenza.

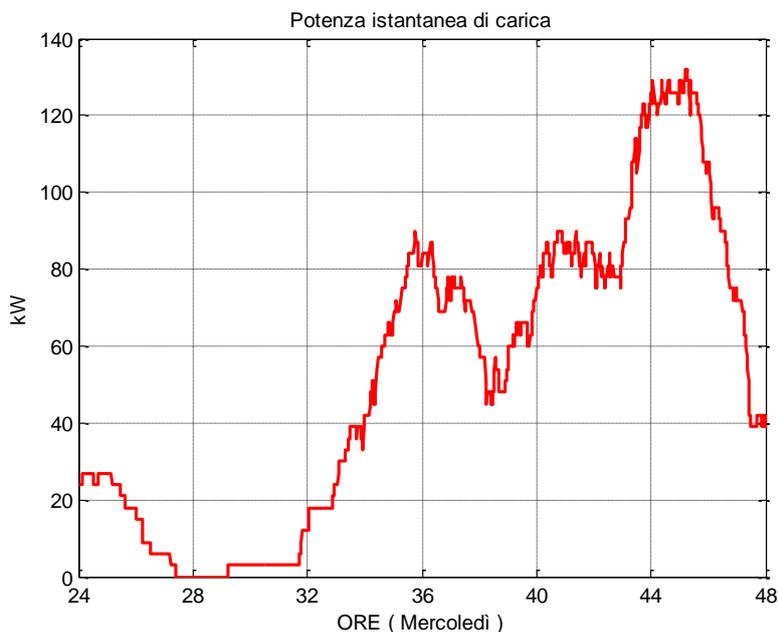


**Figura 36 – Profilo veicoli in stazione**

Esaminando il profilo (in rosso nella Figura 36) viene ben evidenziato che il numero dei veicoli in carica è inferiore a quello di veicoli presenti poiché man mano che il processo di carica dell'accumulo di bordo procede i veicoli si staccano dalla rete al raggiungimento del massimo SOC. I veicoli in carica tendono a giungere alla stazione in prossimità delle ore legate al ciclo casa-lavoro e quindi intorno alle 20,00 sia il martedì che il mercoledì si sono raggiunti i massimi veicoli collegati in carica. Altra nota interessante alle ore 4,00 del mattino non esiste carico per le esigenze di ricarica.

Il profilo di potenza istantanea ricavato per il mercoledì (giorno tipo in genere per le analisi delle reti elettriche) è mostrato in Figura 37. Il grafico mostra che dopo il ciclo notturno con la potenza richiesta nulla inizia a crescere la richiesta di potenza dalle 8,00 sino alle 12,00 per effetto di veicoli che giungono all'area di sosta da altre zone sostituendo veicoli che lasciano quell'area per spostarsi altrove. Il picco serale mostra il rientro dei veicoli partiti la mattina e la sostituzione con quelli che ritornano alle loro zone di origine. Si giunge quindi ad una condizione di equilibrio dinamico tra veicoli che si spostano di area e che si ricaricano durante la sosta. Il picco di potenza principale è quello serale intorno alle ore 20 con 130 kW richiesti (ben al di sotto dei 240 kW massimi ipotizzabili a veicoli scarichi e tutti in ricarica) con il picco secondario delle 12,00 che vale circa 80 kW. La figura ci mostra una richiesta di potenza tendenzialmente lungo l'arco diurno della giornata per crollare intorno alla mezzanotte.

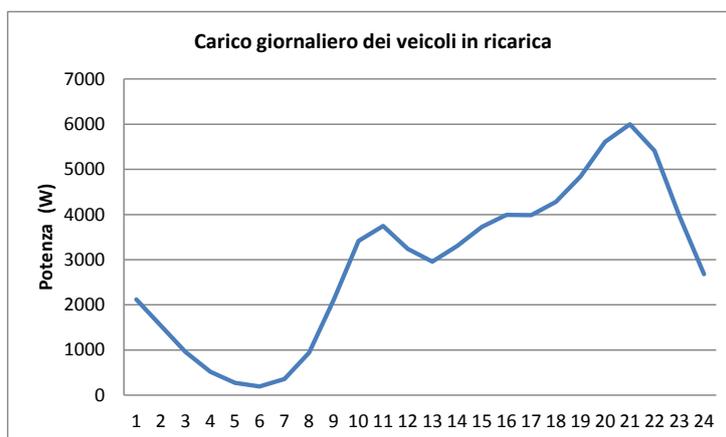
La distribuzione giorno/notte nettamente distinta suggerisce la possibilità di approvvigionarsi in quota parte con energia non prelevata da rete ma proveniente da una fonte fotovoltaica presente durante le ore diurne. La sera visto il carico ridotto si può pensare ad un ricorso alla rete integrato eventualmente con un accumulo stazionario.



**Figura 37 – Profilo potenza istantanea di ricarica**

Partendo da tale profilo di carico si è sfruttata la piattaforma di progettazione e controllo (RdS/PAR2014/104) per valutare la migliore opportunità per realizzare una stazione di ricarica in grado di servire i veicoli in sosta con il minor costo energetico ed economico possibile.

Per poter eseguire il confronto utilizzando la stazione assemblata presso il laboratorio di Cassino la curva di carico è stata scalata in relazione alla taglia della macchina di conversione ivi presente poiché la macchina di taglia superiore da attivare in ENEA non è risultata disponibile. Per queste condizioni il profilo di carico ipotizzato e poi usato per la sperimentazione è rappresentato in Figura 38.



**Figura 38 – Diagramma di carico per test**

Si è utilizzato allo scopo un impianto fotovoltaico di 5 kW di picco come potenza AC disponibile ai morsetti di impianto ed un accumulo di 28.8 kWh. La prima valutazione è stata eseguita con un profilo di campo estivo come mostrato in Figura 39. Il costo di investimento del sistema di accumulo è stato posto pari al

valore reale di acquisto, 0.20 €/Wh all' interno della piattaforma di gestione e controllo dei flussi di potenza.

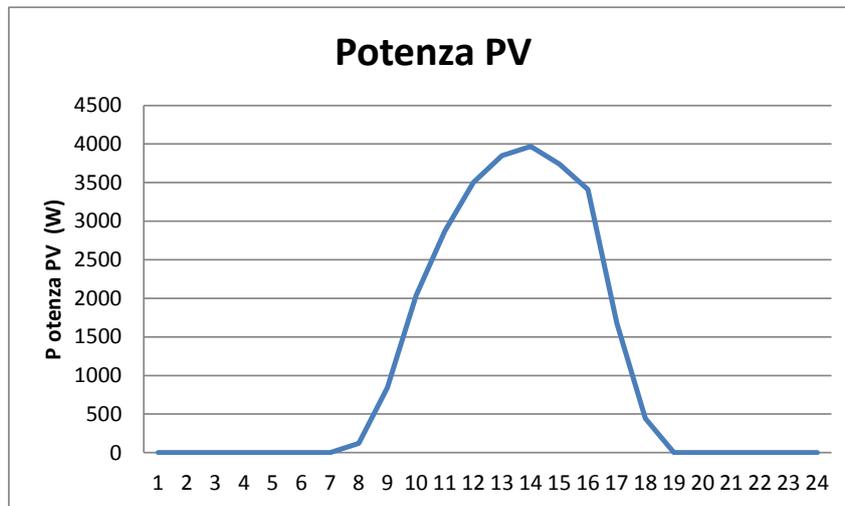


Figura 39 – Potenza PV primo caso

Con queste condizioni di erogazione da fotovoltaico (PV) e con il carico indicato si ha una situazione ottima con un accumulo di energia in batteria di 1.63 kWh durante la parte centrale della giornata, in corrispondenza delle ore con surplus di produzione fotovoltaica, ed un prelievo di 1.2 kWh dal sistema di accumulo la sera in prossimità del picco di costo maggiore di energia prelevata dalla rete (Figura 40). All'interno della soluzione di ottimo è garantita una variazione nulla del SOC dell'accumulo stazionario nelle 24 ore. È da evidenziare che a causa del costo considerato per il sistema di accumulo, nella soluzione di ottimo non è presente il *time-shifting* con l'acquisto da rete. In particolare, per lo scenario di elettromobilità considerato non c'è convenienza ad acquistare energia da rete per accumularla nel pacco batteria nelle ore in cui il costo di energia è minore e successivamente utilizzarla nelle ore a maggiore costo dell'energia da rete per alimentare il carico.

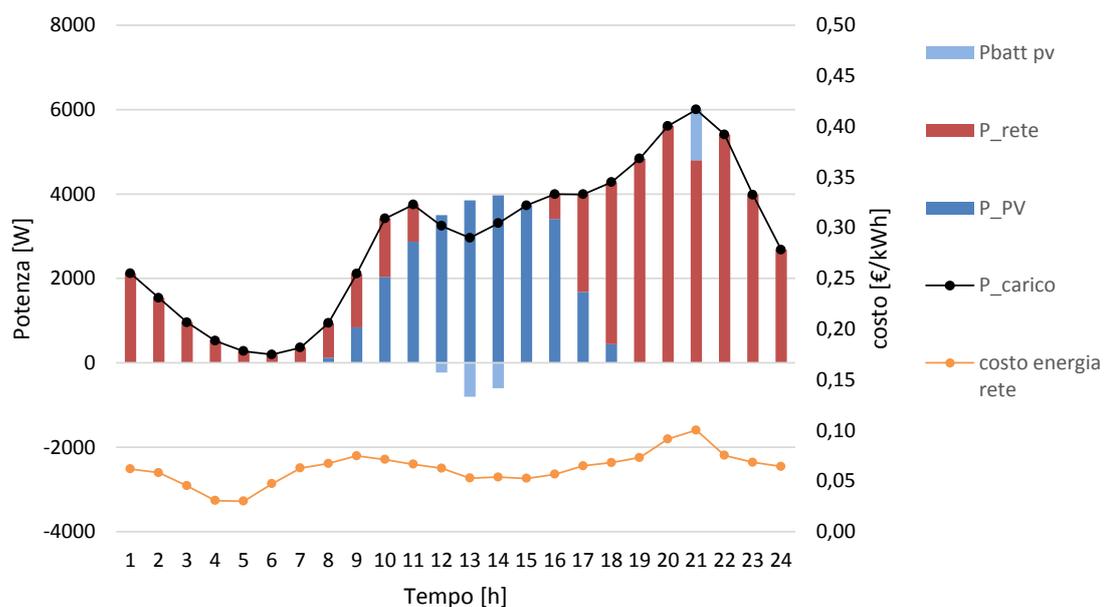


Figura 40 – Esercizio previsto

Il bilancio energetico prevede un carico di 70.2 kWh forniti da rete per 44.36 kWh, 26.4 kWh da PV, 1.2 kWh da accumulo.

Se invece durante l'esercizio le condizioni mutano come mostrato in Figura 41 con una riduzione dell'energia prodotta dal campo fotovoltaico al seguito di un ombreggiamento abbiamo una rideterminazione delle componenti come riportato in Figura 42.

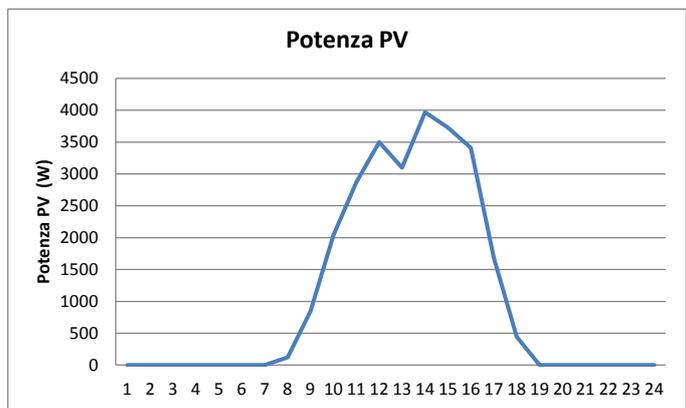


Figura 41 – Variazione potenza PV per ombreggiamento

In questo caso la componente rinnovabile si riduce a 25.7 kWh mentre aumenta la componente da rete salendo a 44.84 kWh con un contributo di 0.72kWh dall'accumulo che viene ricaricato durante le ore centrali con un bilancio nullo per la variazione del SOC.

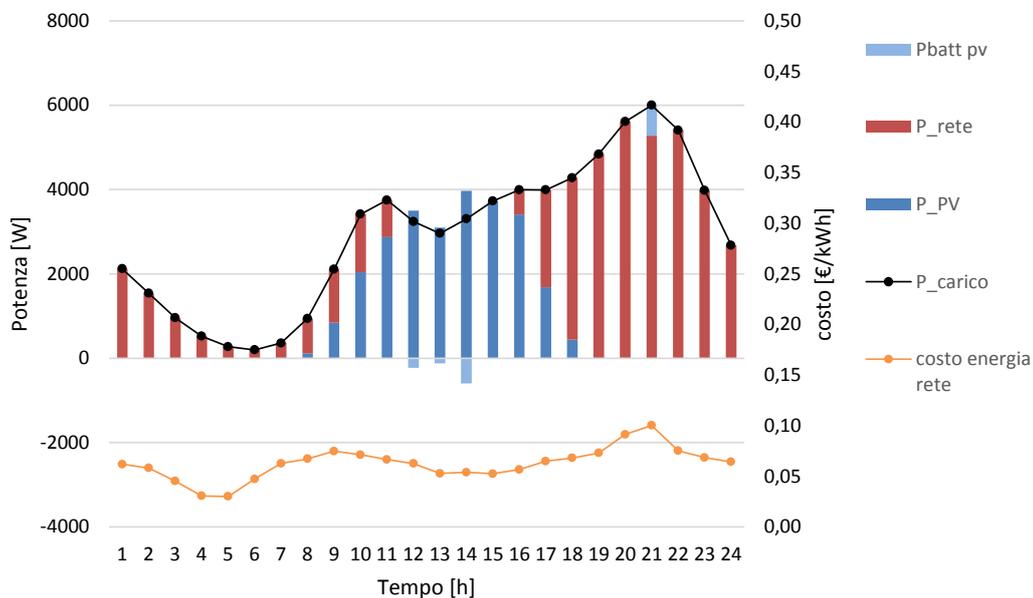


Figura 42 – Esercizio con variazione previsione

Pur avendosi meno energia in batteria da parte del PV il sistema è ancora in grado di fornire energia la sera a compensazione del maggior picco di costo dell'energia da rete. La variazione della produzione PV viene presa in carico dalla macchina che muta le impostazioni di gestione e consente di seguire lo stesso il profilo di carico rilasciando meno energia verso le batterie e ripescando la sera l'energia necessaria per contenere il costo del picco serale (Figura 43).

Una seconda prova è stata eseguita considerando una leggera variazione del profilo di carico. In Figura 44 si vede che l'eccesso di energia da PV rispetto il carico è dirottato in batteria e riutilizzato la sera a copertura del picco serale riducendo il prelievo dalla rete. Anche in presenza di una riduzione di potenza per ombreggiamento del campo si riesce a non ricorrere alla rete ma a trasferire l'energia rinnovabile al carico.

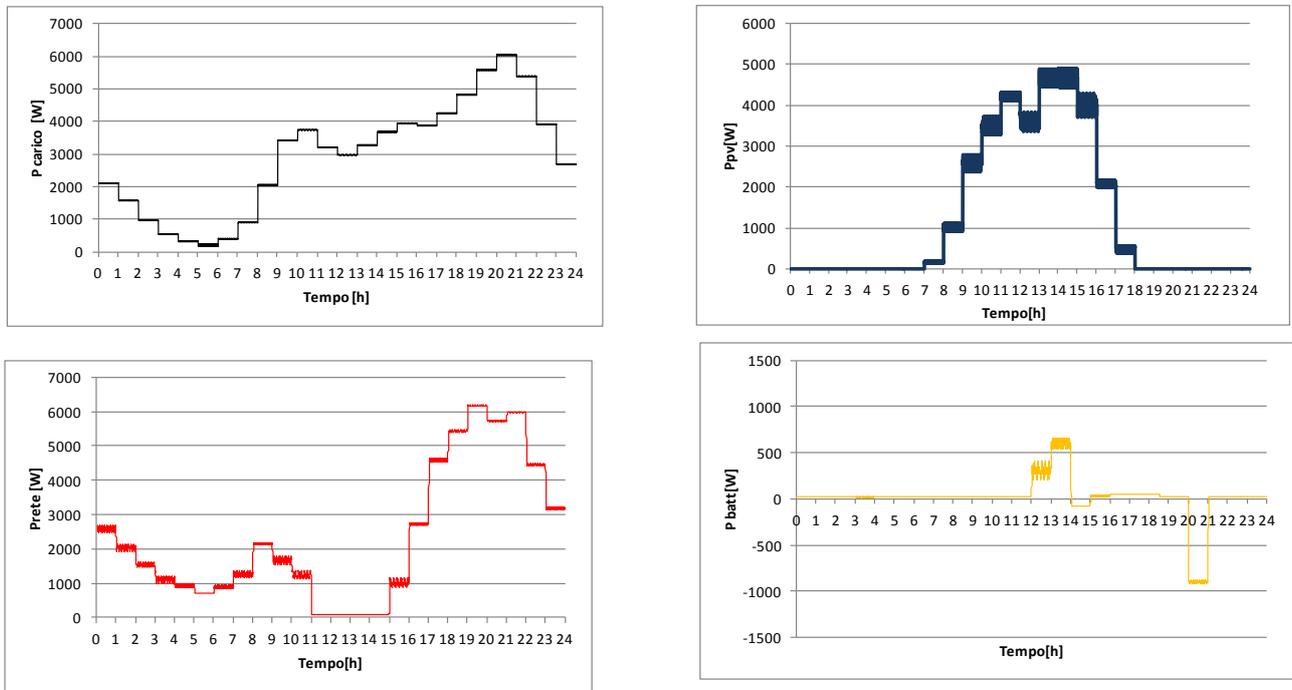


Figura 43 – Grafici rilevati sulla macchina sperimentale nel primo caso

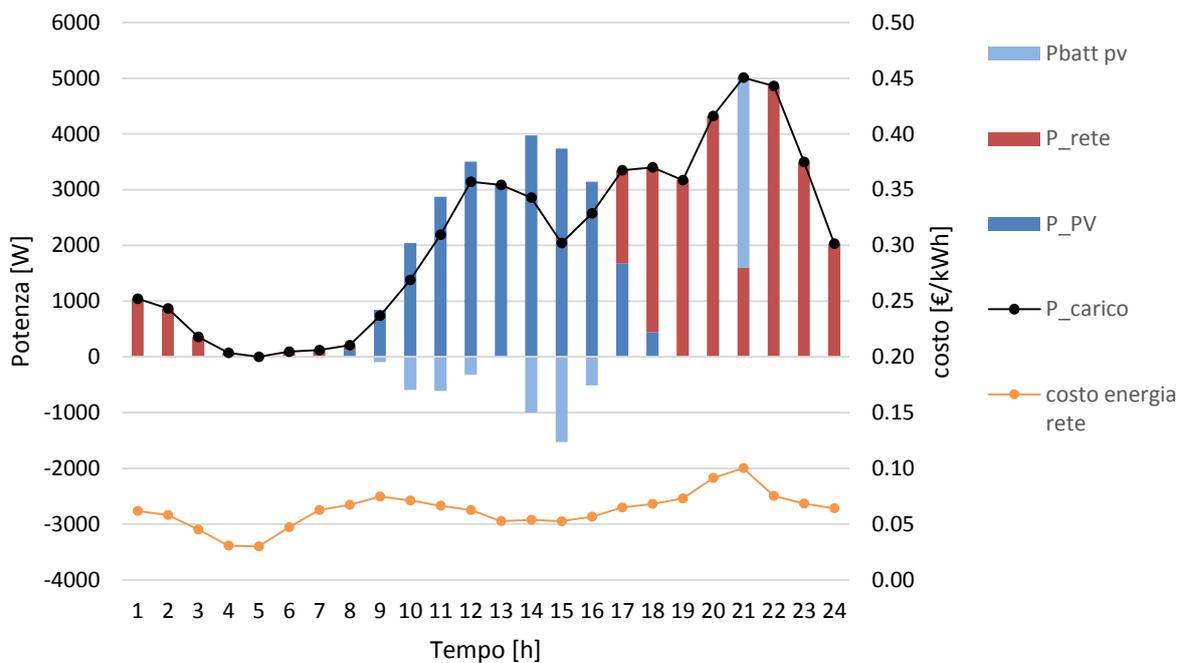


Figura 44 – Esercizio reale con variazione del carico *senza* acquisto da rete in picco serale

Una terza opzione è stata operata considerando lo stesso scenario di elettromobilità ma un costo di investimento del pacco batteria inferiore e pari a 0.07 €/Wh. I risultati di questa simulazione sono riportati in Figura 45. Durante il giorno in una fase di basso carico e minor costo di energia da rete viene prelevato un certo quantitativo di energia ed immagazzinato in batteria. Durante la fase serale del picco di carico viene fornita al carico sia l'eccedenza da PV accumulata di giorno che la quota di energia acquistata dalla rete. In Figura 46 è riportato il risultato sperimentale delle potenze rilevata al sistema.

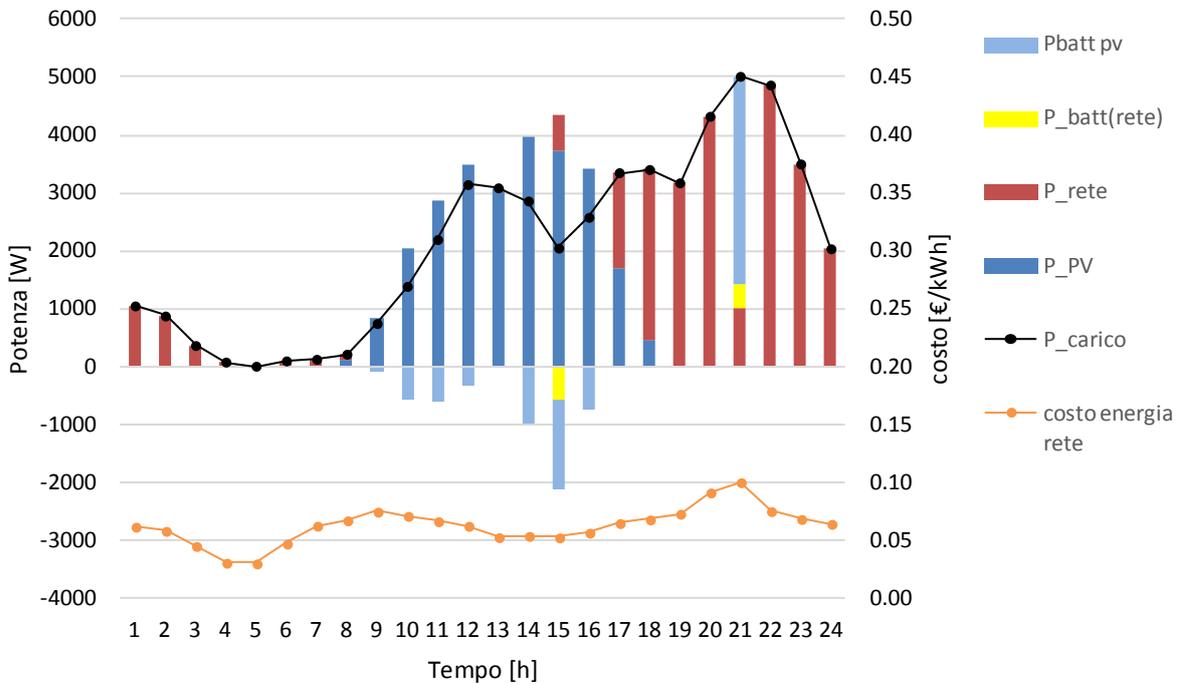


Figura 45 – Esercizio reale con variazione del carico con acquisto da rete in picco serale

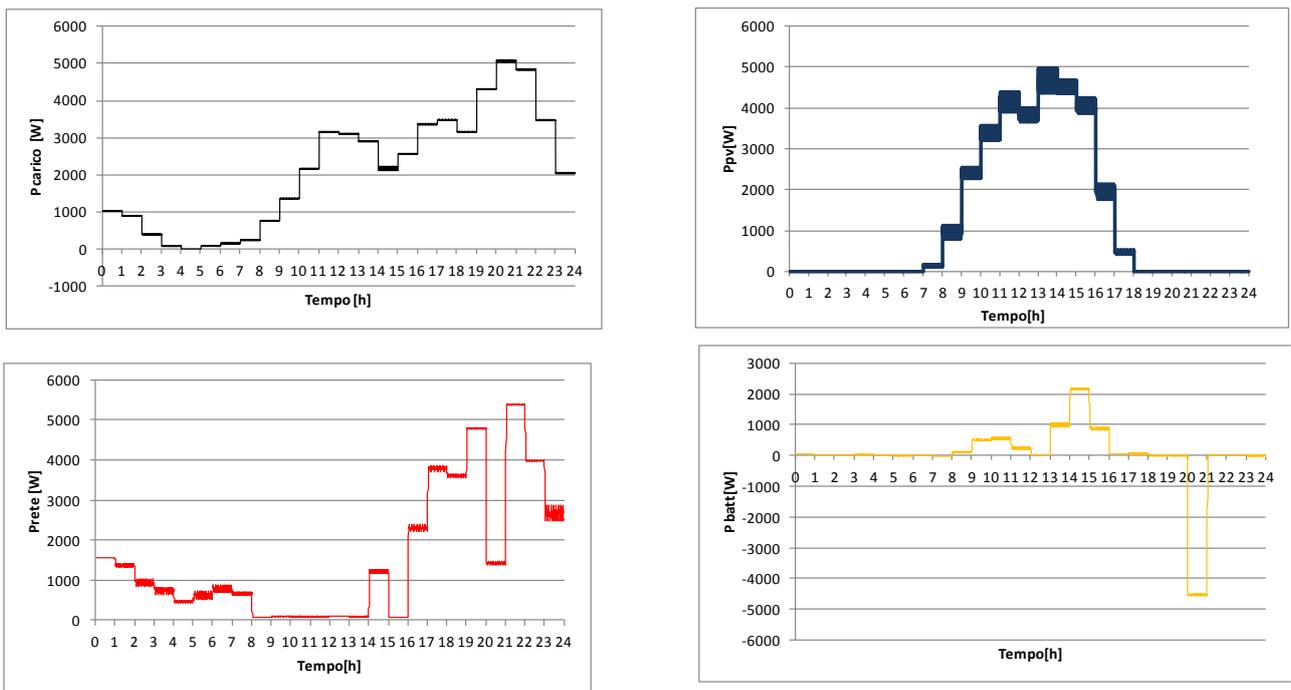


Figura 46 – Grafici rilevati sulla macchina sperimentale nel terzo caso

In



**Figura 47 – Impianto sperimentale (a) e sistema di accumulo utilizzati (b)**

La Figura 47 mostra il sistema di accumulo e la stazione di conversione utilizzati per la fase sperimentale.

## 5 Conclusioni II

L'applicazione di sistemi integrati composti da fonte rinnovabile ed accumulo si è dimostrata utile nella gestione di impianti asserviti alla ricarica di veicoli elettrici. Partendo da un profilo di carica reale generato da veicoli su strada si è operato applicando le tecniche di gestione ottimizzate riportate in RdS/PAR2014/104. Le simulazioni hanno confermato la possibilità di integrare l'accumulo a supporto della fornitura di energia in ore di forte richiesta e di poter mantenere un vantaggio anche in caso di acquisto di energia da rete a patto di ridurre il costo di acquisizione dell'accumulo.

## 6 Riferimenti bibliografici

- [ 1] <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/range-anxiety> accessed 29/07/2015
- [ 2] T. Franke, I. Neumann, F. Bühler, P. Cocron, and J. F. Krems – “Experiencing Range in an Electric Vehicle: Understanding Psychological Barriers” – Applied Psychology :an International review, 2012, 61 (3), 368– 391
- [ 3] T. Franke – “Sustainable mobility with limited resources: Experience and behavior in dealing with electric vehicle range” – Tesi di dottorato 2014 - Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften der Technischen Universität Chemnitz

- [ 4] <http://www.fueleconomy.gov> accessed 29/07/2015
- [ 5] D. Knutsen, O. Willén- "A study of electric vehicle charging patterns and range anxiety"- Examensarbete 15 hp 4 Juni 2013 Uppsala University
- [ 6] Piano Nazionale Infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica -Gazzetta Ufficiale della repubblica Italiana- serie generale n. 280 02/12/2014
- [ 7] Documento di lavoro dei servizi della Commissione – Sintesi della valutazione d’impatto *che accompagna il documento* Proposta di direttiva sulla realizzazione di un’infrastruttura per i combustibili alternativi - SWD(2013) 6 final Bruxelles, 24.1.2013
- [ 8] Rapporto tecnico RdS/PAR2014/107
- [ 9] <http://www.acea.be/news/article/electric-vehicles> accessed 28/08/2015
- [ 10] COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT-*Accompanying the document* Proposal for a Directive on the deployment of alternative fuels infrastructure- SWD(2013) 5 final Part I Brussels, 24.1.2013
- [ 11] <http://www.acea.be/statistics/tag/category/key-figures> accessed 01/09/2015
- [ 12] ACEA\_Electric\_Vehicle\_registrations\_Q4\_14-13 from <http://www.acea.be/statistics>
- [ 13] [http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA\\_ELETRICO/statistiche/dati\\_statistici.aspx](http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETRICO/statistiche/dati_statistici.aspx) accessed 01/09/2015
- [ 14] A.Genovese, F.Ortenzi, C.Villante – “On the energy efficiency of quick DC vehicle battery charging” – EVS28 Kintex Korea, May 3-6, 2015
- [ 15] <http://www.octotelematics.com/it>
- [ 16] <http://www.nissan.it/IT/it/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>
- [ 17] [http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
- [ 18] <http://www.epa.gov/>
- [ 19] <https://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=2014&year2=2016&vtype=Electric&srctyp=newAfv>
- [ 20] M. De Gennaro, E. Paffumi, G. Martini, U. Manfredi, A. Genovese, F. Ortenzi -“Experimental Test Campaign on a Battery Electric Vehicle: Laboratory Test Results (Part 1)” - SAE Int. J. Alt. Power. 4(1):100-114, 2015, doi:10.4271/2015-01-1167
- [ 21] M. De Gennaro, E. Paffumi, G. Martini, U. Manfredi, A. Genovese, F. Ortenzi -“Experimental Test Campaign on a Battery Electric Vehicle: Laboratory Test Results (Part 2)” - SAE International DOI: 10.4271/2015-01-1167 Conference: SAE 2015 World Congress & Exhibition April 21-23, 2015 Detroit, Michigan, USA, Volume: 2015-01-1167
- [ 22] <http://insideevs.com/2016-nissan-leaf-get-25-larger-battery/>
- [ 23] <http://europe.autonews.com/article/20150703/COPY/307039993/nissan-leaf-to-get-a-big-boost-in-driving-range>
- [ 24] <https://www.eneldrive.it/>
- [ 25] M. Bertoluzzo, G. Buja, G. Pede, “Design consideration for fast AC battery chargers”, EVS27, Barcellona, Spain, November 17-20, 2013

- [ 26] M.Caprara, “Tecnologie innovative per la ricarica rapida di veicoli a ricarica rapida”, Tesi di Laurea, Università degli Studi dell’Aquila, Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, A.A. 2013-2014

## 7 Abbreviazioni ed acronimi

BMS = Battery management system  
EPA = United States Environmental Protection Agency  
NEDC = New European Driving Cycle  
PV = Fotovoltaico  
SOC = State of Charge  
VCI = Veicoli a combustione interna  
VE = Veicolo elettrico