



Ricerca di Sistema elettrico

## Diffusione della ricarica rapida in ambito urbano

Antonino Genovese, Giancarlo Giuli, Massimo Mancini

## DIFFUSIONE DELLA RICARICA RAPIDA IN AMBITO URBANO

Antonino Genovese, Giancarlo Giuli, Massimo Mancini (ENEA)

Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con gli altri vettori energetici

Progetto: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: Diffusione della ricarica rapida in ambito urbano

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese- ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 SCELTA DELLE TIPOLOGIE DI VE, MODALITÀ DI RICARICA E ALTRE CONSIDERAZIONI GENERALI.....	8
2.2 VALUTAZIONE SUL NUMERO DI RICHIESTE DELLA RICARICA VELOCE.....	10
2.3 DISTRIBUZIONE NEL TEMPO DELL'ENERGIA RICHIESTA DALLA RICARICA VELOCE .....	15
2.4 DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELL'ENERGIA RICHIESTA DALLA RICARICA VELOCE .....	18
3 CONCLUSIONI.....	20
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	21
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	22
6 APPENDICE .....	23
6.1 C-ZERO .....	23
6.1.1 C-Zero. Ricarica solo a casa.....	23
6.1.2 C-Zero. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche. ....	24
6.1.3 C-Zero. Ricarica solo al Lavoro. ....	25
6.1.4 C-Zero. Ricarica al Lavoro più soste generiche.....	26
6.2 NISSAN LEAF .....	27
6.2.1 Nissan Leaf. Ricarica solo a casa.....	27
6.2.2 Nissan Leaf. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche. ....	28
6.2.3 Nissan Leaf. Ricarica solo al Lavoro. ....	29
6.2.4 Nissan Leaf. Ricarica al Lavoro più soste generiche.....	30
6.3 TESLA S60 .....	31
6.3.1 Tesla S60. Ricarica solo a casa. ....	31
6.3.2 Tesla S60. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.....	32
6.3.3 Tesla S60. Ricarica solo al Lavoro.....	33
6.3.4 Tesla S60. Ricarica al Lavoro più soste generiche .....	34

## Sommario

Da pochi anni i veicoli elettrici sono stati posti sul mercato ma con un modesto valore di vendite. Ora, grazie al successo della Nissan Leaf e della Tesla, sembra che le cose siano destinate a cambiare ed i costruttori sperano a breve di arrivare a vendite su altri ritmi. Proprio il successo di questi 2 modelli mette in luce che l'autonomia è sicuramente il problema più sentito, forse anche più degli elevati costi del veicolo. Non è un caso che questi due veicoli abbiano una batteria con capacità al disopra della media, tra quelle sul mercato. Inoltre questi due modelli si sono diffusi insieme allo loro specifica rete di ricarica veloce: la CHAdeMO per la Leaf ed il Supercharger per la Tesla. La Tesla poi, una delle ultime arrivate, nonostante il suo notevole costo si è rapidamente imposta sul mercato dimostrando palesemente che il problema del costo non sempre è prevalente rispetto all'autonomia.

Quindi, da quanto visto si può affermare che il successo dei veicoli elettrici è di fatto legato alla possibilità di avere una ricarica veloce e pertanto è utile diffonderla. Poiché per questo tipo di ricarica ad oggi ci sono ancora diversi fattori di rischio, è opportuno che la sua diffusione sia adeguata alle attuali necessità, senza dover eccedere.

Un primo problema fra tutti è quello di risolvere l'incognita dello standard comune di ricarica tra CHAdeMO, Supercharger o standard europeo, che può disorientare probabili acquirenti.

Altra fonte di rischio è che il veicolo elettrico, al momento, subisce la concorrenza dei veicoli ibridi plug-in che pur viaggiando in elettrico non necessitano di ricarica veloce perché l'autonomia è garantita dalla presenza del motore convenzionale. In una prospettiva a più lungo termine, invece, l'antagonista è il veicolo elettrico a celle a combustibile alimentato ad idrogeno. Attualmente, anche se questa tecnologia non è ancora in avanzata fase di diffusione, ha però l'interessante prospettiva di realizzare in 3 minuti un pieno che garantisce qualche centinaio di km. Questi tempi difficilmente saranno realizzabili su un veicolo puramente elettrico con ricarica veloce. Altra fonte di rischio è che le attuali potenze delle ricariche veloci saranno meno adeguate alle esigenze di domani, visto che le batterie stanno rapidamente aumentando la loro capacità. Inoltre, con batterie più grandi, la necessità di ricarica veloce è anche meno richiesta soprattutto nella zona di residenza del veicolo. Pertanto, per esempio, le richieste di ricarica veloce in una città saranno praticamente utili solo ai non residenti, e neanche sempre. Infatti quest'ultimi, ove possibile, potrebbero ricaricarsi in albergo o nei posti di lavoro (per i pendolari), evitando di fare un ricarica *veloce*. Tutti questi rischi fanno sì che lo sviluppo delle stazioni di ricarica veloce, fatto oggi, debba essere orientato a soddisfare le reali esigenze in modo da costruire una rete che possa essere anche fonte del giusto margine operativo commerciale.

Il lavoro svolto, tenendo conto che la ricarica veloce dura una buona mezz'ora, mostra che questa può arrivare orientativamente intorno al 15% delle esigenze energetiche di ricarica.

## 1 Introduzione

Il notevole sviluppo della tecnologia nell'ambito delle batterie di accumulo elettrico ha permesso ai veicoli elettrici di tipo BEV (Battery Electric Vehicles) di estendere l'autonomia del veicolo. Ancora non si è in grado però di soddisfare tutte le esigenze di viaggio. Il ricorso alla ricarica veloce diventa perciò una necessità inevitabile per superare questo problema, rendendo anche una vita meno ansiosa ai viaggiatori che usano questa tipologia di VE (Veicoli Elettrici).

La ricarica veloce comincia ad avere una buona diffusione in Europa, ma purtroppo si divide in 4 diversi Standard di ricarica: CHAdeMO, Tesla Supercharger, CCS e GBT [1].

Il sistema CHAdeMO è uno standard giapponese che ricarica in corrente continua a 50 kW. Attualmente, al settembre 2016, con i suoi 3.568 Charger è il più diffuso in Europa [2] grazie al successo dei VE giapponesi. In Figura 1 sono riportate alcune delle colonnine presenti in Europa [3], che adottano questo standard. Mentre il sistema "Supercharger", in Figura 2, usato dalla Tesla dispone, al gennaio 2016, di 590 stazioni nel mondo (73 in Europa) con 3.419 punti di ricarica [4][5] da 120 kW, e rappresenta il secondo standard più diffuso. Il confronto diretto fra CHAdeMO e Supercharger basato sul numero di colonnine/stazioni non è propriamente corretto. Infatti basti pensare che nella tratta Roma-Milano alla Tesla è necessario 1 Supercharger per completare il viaggio mentre alla Nissan Leaf di rifornimenti alle colonnine CHAdeMO, ne occorrono 4.

Il terzo sistema è lo standard CCS (Combined Charging System) a cui fanno riferimento i costruttori europei ed americani anche se con standard leggermente diversi fra loro. Attualmente in Europa si hanno 2.376 punti di ricarica [6] ma dovrebbero crescere ulteriormente.

Infine c'è il sistema con lo standard cinese GBT, spesso ignorato, perché considerato un sistema puramente locale, circoscritto alla Cina. Quindi è difficile prevederne l'effettiva diffusione in Europa, anche se i cinesi stanno diventando dei forti esportatori di veicoli.



Figura 1. Alcuni dei marchi presenti in Europa, che usano colonnine CHAdeMO.

Se è vero che i veicoli BEV necessitano di sistemi con ricarica veloce, esistono altre tipologie di VE che non presentano questa necessità. Al momento un'alternativa interessante è data dai PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles) e dagli EREV (Extended-Range Electric Vehicles), mentre in un prossimo futuro andranno

senz'altro considerati i FCV (Fuel Cell Vehicles). I PHEV e gli EREV, disponendo di un motore convenzionale, oltre al motore elettrico, sono in grado di garantire l'autonomia necessaria e soprattutto un rapido rifornimento.



**Figura 2. Tesla in carica in una stazione Supercharger**

La differenza sostanziale tra questi 2 modelli è che la potenza fornita alle ruote dai PHEV è la somma del motore convenzionale più quello elettrico, mentre negli EREV è solo quella del motore elettrico, poiché quello convenzionale serve solo per ricaricare la batteria, quando necessario. Pertanto nel funzionamento solo elettrico l'EREV garantisce sempre la piena potenza mentre il PHEV si deve accontentare di una potenza ridotta. Come già visto [7], con alcuni modelli PHEV tipo Volt Ampera, la percorrenza in elettrico può arrivare quasi al 90%, con ricarica solo a casa. Se poi è possibile fare ricariche fuori dalle mura domestiche, con l'aggiunta di ricariche, anche solo lente, si riesce a raggiungere anche il 95%. Questi risultati esposti sono confermati anche da altri lavori ottenuti con un diverso approccio. Ad esempio il progetto sui punti di ricarica dei VE proposto dal dipartimento dell'Energia degli USA, e svolto dall'Idaho National Laboratory [8] si basa sull'effettiva circolazione dei VE. Questo progetto, durato 3 anni dal 2011 al 2013, ha monitorato 8.300 VE, che hanno utilizzato 17.000 stazioni di ricarica lenta, in alternata (AC), e 100 stazioni di ricarica veloce, in continua (DC). Lo studio ha riscontrato che con una percorrenza media americana di 11.346 miglia/anno le Nissan Leaf (BEV) utilizzate, ne percorrono 9.697, ossia il 15% in meno, mentre per la Chevrolet Volt (EREV) le miglia percorse diventano 12.238, ossia 8% in più della media nazionale. In questo secondo caso la percorrenza, pur essendo mista, avviene in elettrico per 9.112 miglia che è molto prossima a quelle delle Leaf, ma senza usare stazioni di ricarica veloce.

Per il medio termine alcune case automobilistiche, tra cui in prima linea ci sono Toyota, Honda e Hyundai stanno puntando alla tecnologia FCV. Il pregio di queste vetture è che un rifornimento di idrogeno, per garantire una percorrenza di 500 km, può essere fatto in 3 minuti, disponendo di una pompa di ricarica con pressioni di 700 bar. La Toyota è certamente più avanti delle concorrenti avendo già venduto alcune decine di modelli della sua Mirai, di cui un prototipo ha già percorso i suoi primi 100.000 km [9]. Inoltre in California questa vettura dispone di una decina di punti di ricarica ed altrettanti nel nord Europa dove a breve (prima del 2020) diventeranno 120 [10]. Per favorire questa tecnologia, la Toyota, sta spingendo molto anche su ricerche legate alla produzione di idrogeno da impianti che sfruttano fonti rinnovabili.

Molto spesso si parla di ricarica veloce come la soluzione ideale. Questo sarà sicuramente vero tra 10 anni, quando i veicoli monteranno di serie batterie da 80 o più kWh e si proporranno per le lunghe percorrenze interregionali. Ma anche nel contesto urbano stazioni veloci di ricarica saranno in grado di fornire, in tempi limitati, cariche parziali utili ai percorsi cittadini indipendentemente dalla capacità della batteria. Va chiarito che per velocizzare la ricarica di una fissata quantità di energia, mantenendo le stesse prestazioni iniziali, l'ideale sarebbe quello di aumentare, nella stessa proporzione la potenza della colonnina e la capacità della batteria

L'aumento della sola potenza è accettabile ma non può essere indefinito perché la riduzione dei tempi di ricarica è sempre meno proporzionale all'aumento della potenza, man mano che questa cresce. Infatti la

ricarica veloce avviene generalmente con un profilo di potenza che decresce nel tempo ( nella fase a tensione costante). Sarebbe maggiormente lecito individuare la potenza media utile per la ricarica.

Da quanto precedentemente descritto, l'attuale carica veloce (escludendo quella della Tesla) è un servizio strettamente necessario ma con prestazioni non sempre eccezionali. Infatti si può affermare che, durante un viaggio, una sosta di ricarica può essere ritenuta accettabile se ha una durata di 10 o al massimo di 15 minuti. Per esempio se per 10 minuti di ricarica, su un VE con gli stessi consumi della "Leaf", si desidera garantire almeno una percorrenza di 200 km, occorrerebbero 30 kWh e quindi si dovrebbe ricorrere ad una potenza media di 180 kW. Per operare in queste condizioni sarebbe indispensabile disporre di una colonnina di circa 200 kW di potenza massima. Per ora fatta eccezione per la Tesla, che è una vettura di lusso, le prestazioni descritte sono ancora premature. Pertanto per i VE, con le attuali batterie, le colonnine tipo CHAdeMO, da 50 kW vanno più che bene, ma con l'aumento delle capacità delle batterie rischiano di diventare obsolete tra pochi anni.

Quindi in questa fase di transizione è opportuno conoscere quali sono le reali esigenze di ricarica veloce sia come quantità sia come ubicazione.

Utilizzando il dataset estratto dal database Octo Telematics [11] è facile individuare i veicoli con lunghi viaggi e/o lunghe percorrenze giornaliere. Questo dataset si riferisce all'intero anno 2013, per un sottoinsieme di circa 30.000 veicoli ad uso privato equipaggiati con il dispositivo Clear Box in provincia di Roma [12]. Per veicoli ad uso privato si intende che dal campione estratto sono stati eliminati i veicoli commerciali.

E' evidente che la ricarica rapida è particolarmente utile nei giorni in cui la percorrenza del veicolo supera la sua autonomia e quindi c'è la necessità di una ricarica intermedia.

Inoltre, visto il maggior tempo impegnato dal veicolo, per le lunghe percorrenze, sarebbe opportuno ricorrere alla ricarica rapida per non penalizzare ulteriormente il viaggiatore con una lunga attesa nel processo di ricarica. Individuati i viaggi critici e utilizzando un valore medio di consumo del veicolo, in base al percorso effettuato si può valutare il suo SOC (State Of Charge) e quindi la necessità di una ricarica.

Basandosi sulle traiettorie di questi veicoli si riesce ad individuare quando e dove è richiesta la ricarica. Dall'insieme di più richieste si può verificare quale zona sia maggiormente idonea ad essere sede di un punto di rifornimento rapido. Si può ipotizzare che la condizione di ricarica avvenga con un SOC compreso tra il 20-30 %.

Sfruttando la localizzazione delle stazioni ed i flussi dei veicoli e tenendo presente il SOC di inizio ricarica si può valutare il profilo di potenza della stazione di ricarica lavorando ad esempio con 2 o 4 colonnine di ricarica rapida.

La conoscenza del profilo globale deriva dalla compresenza dei veicoli, dal numero di colonnine di rifornimento e dal SOC iniziale di ricarica.

Conoscere il profilo di potenza serve a verificare l'impegno di potenza, il vantaggio di usare sistemi di peak shaving o di load shifting e quindi di determinarne i costi.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Si è realizzato quanto proposto utilizzando il database descritto in [12], a disposizione dell'Enea, e che raccoglie gli spostamenti, per un intero anno, di un campione di circa 30.000 veicoli convenzionali e che risulta perfettamente idoneo per conoscere le reali esigenze di carica veloce. Il lavoro è stato suddiviso in 3 parti. Nella prima, si scelgono 3 VE di taglia piccola, media e grande e si definiscono le strategie di ricarica. La tipologia di ricarica di base scelta è quella lenta a bassa potenza con la possibilità di considerare differenti luoghi di ricarica come: casa, lavoro o altro. Questa prima parte permette di valutare sia il numero ricariche veloci e sia la quantità di energia di cui mediamente il parco veicolare necessita per soddisfare le esigenze di spostamento nelle condizioni di superamento dell'autonomia del veicolo.

Nella seconda parte si sceglie il veicolo di media taglia e si stima in quali giorni dell'anno, ed in quali ore è richiesta la ricarica veloce per ciascuno dei veicoli del campione. Infine, nell'ultima parte si determinano quali sono le zone dove questa richiesta è più elevata.

### 2.1 Scelta delle tipologie di VE, modalità di ricarica e altre considerazioni generali.

Inizialmente è stato fatto un lavoro preliminare sul database dei viaggi per individuare i punti di sosta compatibili come punto di sosta residenziale. Così pure sono state studiate le soste giornaliere per determinare le destinazioni compatibili come luogo di lavoro o equivalenti attività di routine con soste di lunga durata. Per ogni veicolo sono stati poi individuati i percorsi, definiti di seguito come "Tour", che rappresentano l'insieme dei viaggi che hanno origine dall'abitazione e terminano nuovamente in essa. Quest'informazione risulta molto utile perché in ogni situazione di viaggio siamo in grado di determinare l'esatta energia necessaria per fare ritorno alla propria abitazione ed eventualmente alla postazione casalinga di ricarica.

Per avere un quadro completo, che rappresenti il comportamento di diverse tipologie di veicoli, il primo passo è stato quello di selezionare [13] i 3 VE tra i più diffusi di quelli proposti dal mercato, per le 3 classi dei veicoli: piccola, media e grande. Per i veicoli piccoli si è scelta la Citroen C-zero, in Figura 3, dotata di una batteria da 14,5 kWh. Per i veicoli medi si è considerata la Nissan Leaf, in Figura 4, che dal 2016 monta una batteria da 30 kWh e risulta in assoluto il VE più venduto. Infine per i veicoli grandi si è scelta la Tesla la quale dispone di varie versioni con batterie che arrivano anche a 90 kWh. Poiché si tratta di una vettura molto costosa, si è scelta la versione base ossia il modello S che monta una batteria da 60 kWh. Le caratteristiche principali di questi veicoli sono riportate in Tabella 1.



Figura 3. Citroen C-Zero

Nella tabella sono riportati anche i consumi secondo il ciclo europeo NECD (New European Driving Cycle) [14] e quelli misurati dall'agenzia Americana EPA, nell'utilizzo misto tra urbano ed extraurbano.



Figura 4. Nissan Leaf

Il valore del range, riportato in tabella, contrariamente a quanto indicato in [13], è stato calcolato utilizzando l'intera carica sia con i consumi NCED e con il consumo misto dell'EPA. Tra parentesi si riporta lo stesso valore utilizzando il solo 80% della batteria che è il range effettivo perché praticamente la batteria non deve mai essere scaricata a zero. Questo deriva dal fatto che se una batteria viene totalmente scaricata, la sua durata si riduce di molto, oltre al rischio di un danneggiamento. Quindi nel presente lavoro non ci si spinge mai al disotto del 20% del SOC.

Tabella 1. Caratteristiche dei 3 VE selezionati

			Citroen C0	Leaf 2016	Tesla 60 S
<b>Peso</b>	[kg]		1.065	1.516	2.108
<b>Lar x H x Lun</b>	[m]		1,47 x 1,61 x 3,47	1,77 x 1,54 x 4,44	1,96 x 1,44 x 4,98
<b>Coppia</b>	[Nm]		196	254	430
<b>Potenza</b>	[kW]		49	80	283
<b>Velocità</b>	[km/h]		130	144	190
<b>Acc. 0-100 km/h</b>	[s]		15,9	11,5	6,2
<b>Batteria</b>	Peso	[kg]	-	294	353
	Capacità	[kWh]	14,5	30	60
<b>NEDC</b>	Consumo	[Wh/km]	126	150	188
	Range*	[km]	115 (92)	200 (160)	319 (255)
<b>EPA Misto</b>	Consumo	[Wh/km]	-	186	219
	Range*	[km]	-	161 (129)	274 (219)

\* Il valore tra parentesi si riferisce ad un utilizzo del solo 80% della batteria

Il consumo usato per calcolare la quantità di scarica della batteria durante i viaggi è quello NECD.

Per quanto riguarda la ricarica dei VE, pur ricorrendo alla ricarica veloce, si osserva che, nel confronto con i veicoli convenzionali, le condizioni rimangono molto diverse sia per i più lunghi tempi del rifornimento e sia per la minor diffusione delle colonnine che a volte porta a sgradevole deviazione sul percorso.

Quindi si è ipotizzato che il VE, più comodamente, utilizzi ricariche lente, prevalentemente dislocate a casa o sul posto di lavoro che gli permettono di evitare deviazione di percorso o di sostenere fastidiosi tempi di attesa. Pertanto il ricorso alla ricarica veloce avverrà solo quando il veicolo ha esaurito la carica e non è in grado di completare il viaggio.

E' conveniente ricorrere alla ricarica veloce quando la batteria è scarica per sfruttare al meglio la ricarica visto la già limitata possibilità di ricaricare tra il 20 e l'80%. Inoltre, come si vedrà più avanti, più la batteria è scarica più la colonnina lavora alla massima potenza ottimizzando i tempi di ricarica. Diversamente le potenze di ricarica sono più modeste. Quindi operativamente, ove possibile si fanno le ricariche lente, e nei rimanenti casi si eseguono quelle veloci alla colonnina da 50 kW.

Per la ricarica lenta si utilizzano come stazioni di ricarica a casa quelle con potenza di 3 kW o quelle da 6,6 kW come punto di ricarica presso la sede di lavoro. In aggiunta si possono avere "altre ricariche" distribuite in città presso parcheggi di scambio, centri commerciali o altro. In tutti questi casi la ricarica è fatta solo per soste superiori ad un'ora ed alla potenza di 3 kW. In sintesi si sono considerate 4 differenti modalità di ricarica lenta:

- solo a casa
- casa, lavoro più e "altre ricariche"
- solo al lavoro
- lavoro e "altre ricariche"

Per le prime 2 modalità di ricarica si utilizza l'intero campione di 29.867 veicoli mentre per quelle che hanno la ricarica principale al lavoro si utilizza un campione ridotto di 6.109 veicoli, costituito da quelli che si recano sul posto di lavoro per almeno 100 giorni l'anno.

Vista la scarsità delle colonnine, e avendo posto il vincolo di non scendere al disotto del 20% della carica, risulta praticamente impossibile arrivare alla colonnina esattamente con questa capacità residua. Pertanto si ipotizza che all'atto della ricarica il SOC sia il 25% avendo ipotizzato di lavorare con una capacità di riserva del 5%, che nel caso della Leaf corrispondono ad 1,5 kWh o 10 km. Questa condizione sicuramente si discosta un po' dalla realtà, nel senso che il veicolo non sempre si presenta alla stazione di ricarica veloce con un SOC prefissato. Anche a causa del fenomeno del range anxiety alcuni conducenti, pur di assicurarsi l'autonomia del veicolo, potrebbero rifornirsi già con SOC del 50%, magari favoriti anche dal fatto di trovare la colonnina sul proprio tragitto. Visto che questa è una situazione difficile da prevedere, ed al momento non si hanno informazioni precise, la scelta di ricaricare al 25% del SOC va intesa come un valor medio di un SOC alla colonnina che può andare dal 20 al 30%.

## 2.2 Valutazione sul numero di richieste della ricarica veloce

Per determinare il numero di ricariche veloci potenzialmente necessarie, si ipotizza la successiva sostituzione integrale dei veicoli del campione con i veicoli tipo individuati e riportati in Tabella 1. Così facendo praticamente si fissa la capacità della batteria e il consumo energetico del VE. E' quindi facile simulare lo stato della batteria perché ad ogni viaggio corrisponde un consumo elettrico che scarica la batteria. La batteria poi è di seguito ricaricata con ricarica lenta nei punti sosta individuati da una delle 4 modalità scelte per la simulazione. Si ricorre alla carica veloce (durante il viaggio) esclusivamente quando il veicolo non è più in grado di viaggiare per mancanza di carica. Supponiamo, ad esempio, di aver scelto la modalità di ricarica "solo a casa". Una volta che il veicolo lascia la propria residenza, con la batteria carica, se la somma di tutti gli spostamenti per ritornare alla propria residenza (*Tour*) supera la sua autonomia, si arresta non appena la batteria raggiunge il SOC minimo. Si concretizza l'ipotesi che lungo il suo percorso, prima di raggiungere le condizioni di blocco, ossia quando dispone ancora una riserva del 5% in più rispetto al SOC minimo (SOC al 25%), il veicolo debba eseguire la ricarica veloce fino all'80% del SOC in modo da poter completare il "*Tour*" e giungere a destinazione. Qualora una sola ricarica non fosse sufficiente a completare il viaggio, al verificarsi di nuove condizioni di riserva viene effettuata una ulteriore ricarica

veloce. Una volta raggiunta la propria residenza il veicolo può reintegrare l'energia consumata mediante ricariche lente.

Questo processo, iterato per i 3 tipi di VE e per le 4 tipologie di ricariche lente previste, dà una stima di quale sia l'effettiva necessità della ricarica veloce. Le schede di ogni singola prova sono riportate in appendice. Qui di seguito, per avere un quadro di insieme delle prove, si riporta una loro sintesi. In Figura 5 si mostra, per ognuno dei 3 veicoli e per ciascuna delle 4 modalità di ricarica lenta, la frequenza annuale delle ricariche veloci.

Osserviamo il caso del veicolo a minore autonomia effettiva (92 km della Citroen C-zero) nelle condizioni di ricarica lenta solo a casa. Con tali vincoli, dalla figura 5 si vede che il 5% dei veicoli non necessita mai di ricarica veloce mentre quelli che non superano le 12 richieste all'anno sono il 30%. Se si utilizza la ricarica lenta anche sul posto di lavoro e nelle altre soste lunghe, le due precedenti percentuali aumentano rispettivamente al 10 e al 46%. Quindi grazie alla ricarica veloce, circa metà del campione considerato potrebbe circolare tutto l'anno senza problemi effettuando al massimo 12 ricariche veloci all'anno (mediamente una al mese).

Le stesse osservazioni fatte su gli altri 2 veicoli portano queste 2 percentuali a 16 - 52% per la Leaf e a 29 - 56% per la Tesla, nel caso di ricarica lenta solo a casa. Anche qui, se si considerano le ricariche sul lavoro più altre soste queste percentuali crescono rispettivamente a 23 - 57% e a 36 - 56%. Quindi, per la Tesla la somma di queste due percentuali corrisponde al 92% del campione considerato, mentre per la più modesta Leaf questa somma dà una percentuale dell'80%.

Ovviamente queste percentuali possono essere più alte se si ritiene accettabile un numero di ricariche annuali maggiori di 12.

Nel caso in cui non è possibile ricaricare a casa si prende in considerazione la ricarica lenta fatta solo al lavoro (terzo riquadro di Figura 5) o includendo anche quella delle altre soste (quarto riquadro). In questo caso il campione usato non è più quello intero di 29.867 veicoli ma scende a 6.109 perché si considerano solo quei veicoli che in un anno sono usati almeno 100 giorni per andare al lavoro.

La percorrenza annua media di questo campione ridotto è più elevata ed è di 13.912 km contro gli 11.817 km dell'intero campione. In questo caso il più frequente utilizzo, per l'attività lavorativa, si associa anche ad un più *regolare* impiego del veicolo con un più elevato numero di viaggi medio-lunghi.

Per la ricarica lenta al solo lavoro, considerando i 2 casi: senza ricariche veloci e con massimo 12 ricariche/anno, si ottengono le seguenti percentuali: 1 - 10% per la C-zero 3 - 25% per la Leaf e 9 - 45% per la Tesla. Anche qui, aggiungendo la ricarica in "altre soste", le stesse percentuali salgono rispettivamente a: 5 - 33%, a 17 - 53% e a 29 - 59%.

In quest'ultimo caso, per i due VE con batterie medio-grandi, se si accettano anche quelli che non superano le 12 ricariche veloci all'anno, praticamente si ottengono percentuali di utilizzo quasi analoghe a quelle dei veicoli che ricaricano a casa, lavoro e altre soste. Quindi chi non ha la possibilità di ricaricare a casa, ma usa frequentemente il veicolo per recarsi al lavoro, può tranquillamente trasformarlo in elettrico senza dover ricorrere a frequenti ricariche veloci, con fermate di mezz'ora.

Nella Figura 6, per le stesse simulazioni, viene riportata la percentuale di energia nei posti dove è caricata senza aver posto limiti al numero di ricariche veloci che avvengono durante l'anno. Quella che segue è quindi una valutazione di massima perché i veicoli che richiedono, durante l'anno, molte ricariche veloci, probabilmente non verranno mai trasformati in elettrico o diversamente, pur accettando la trasformazione, cambierebbero però le loro abitudini eliminando molti lunghi viaggi.

**Frequenza annuale dei giorni con ricariche veloci**

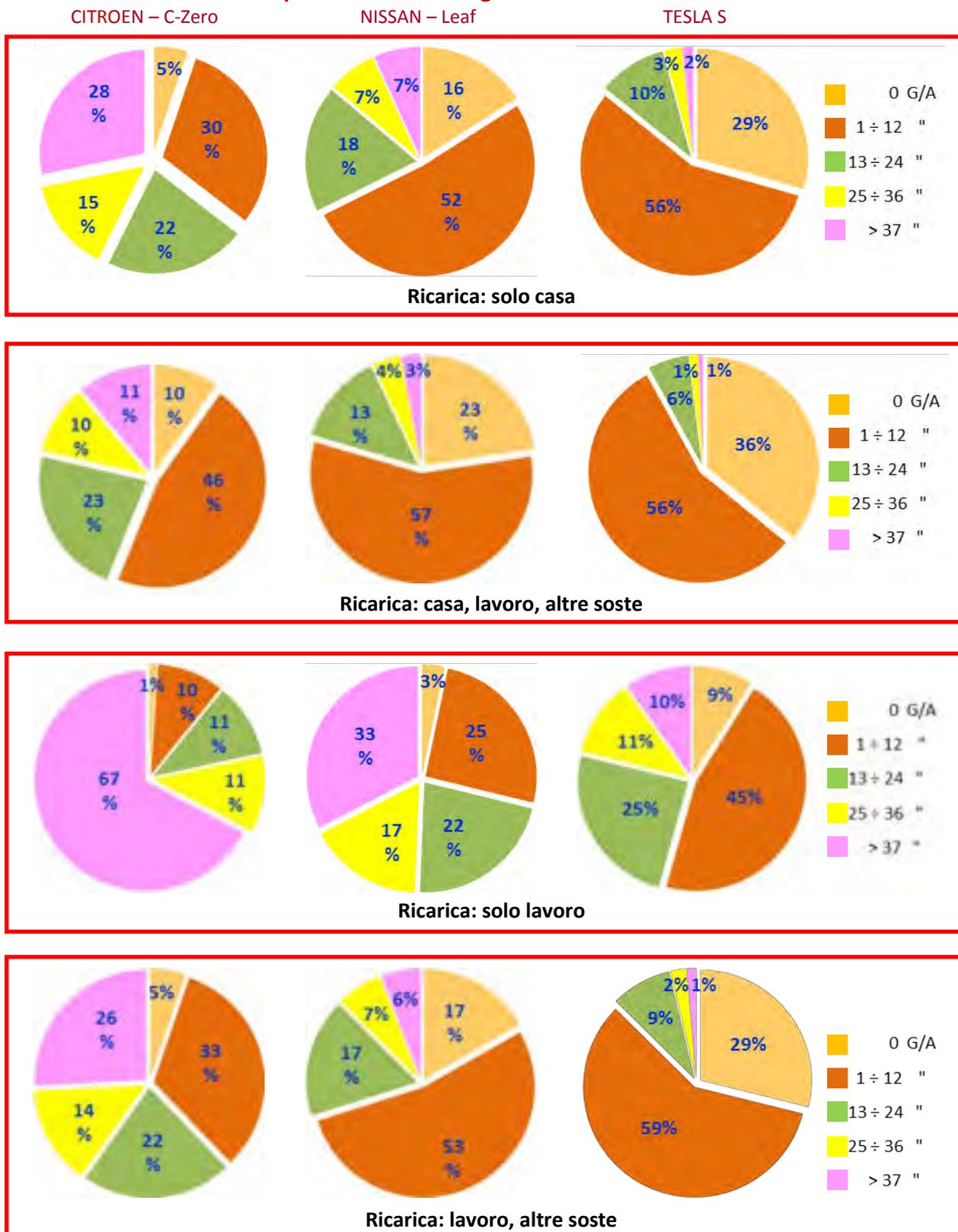


Figura 5. Frequenza annuale delle ricariche veloci effettuate durante il viaggio per i 3 differenti VE considerati

### Provenienza dell'energia ricaricata

CITROEN – C-Zero

NISSAN – Leaf

TESLA S

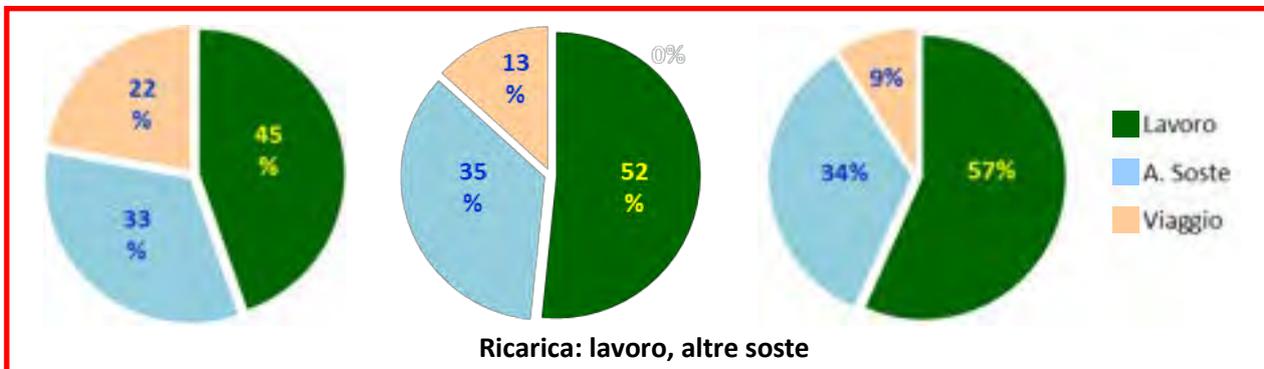
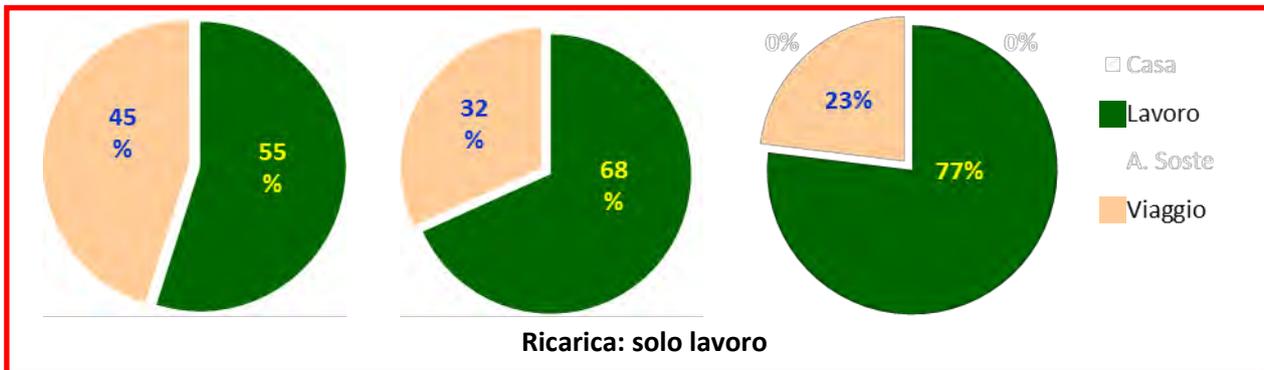


Figura 6. Provenienza energia ricaricata suddivisa per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio, fatta per i 3 differenti VE considerati.

Per le ricariche lente a casa, primi 2 riquadri, la quantità di energia ricaricata in modo veloce va dal 30% nel caso della piccola C-zero, per scendere al 9% della Tesla. Diversamente, in assenza di ricariche a casa, si vede che sul posto di lavoro si riesce a caricare più della metà dell’energia come evidenziato dal terzo riquadro della Figura 6.

L’ultimo riquadro è estremamente interessante perché mostra che aggiungendo le ricariche lente anche nelle altre soste lunghe (escluse quelle a casa) le energie ricaricate in modo veloce scendono a valori prossimi a quelli con modalità di ricarica a casa più altre soste.

Quanto detto deriva da una osservazione fatta su tutto l’anno, ma passando ad un osservazione fatta mese per mese i risultati non sono uniformi ma risultano molto variabili come mostra la Figura 7, relativa al test fatto per la Leaf e con modalità di ricarica lenta solo a casa. Nella figura di sinistra si vede che in alcuni mesi i veicoli che ricaricano più di 4 volte al mese sono circa il 5% mentre in agosto salgono circa al 21%. Si capisce che ciò dipende molto dal fatto che in questo mese si viaggia di più e che aumentano i viaggi lunghi, dovuti alle vacanze estive.

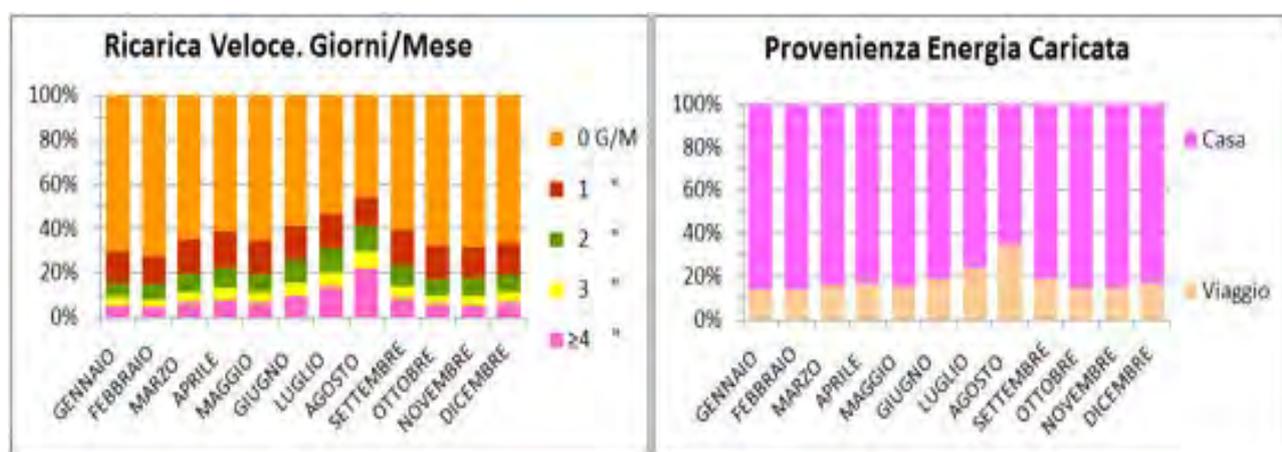


Figura 7. A sx, percentuali del N° di ricariche al mese, e a dx, provenienza dell’energia caricata, per la Nissan Leaf con ricarica lenta solo a casa.

Osservando invece i veicoli che non hanno ricariche veloci si vede che si passa dal 43% circa di agosto a circa il 70% di gennaio e febbraio.

Osservando il grafico di destra, che mostra la distribuzione di energia tra quella ricaricata a casa e quella durante il viaggio si vede che gli andamenti seguono quelli mostrati nel grafico di sinistra. Infatti nel mese di agosto si osserva che l’energia caricata durante il viaggio è praticamente doppia rispetto a quella caricata durante i mesi invernali.

Risultati simili, a quelli mostrati in Figura 6, sono stati ottenuti anche da altri autori. Per esempio il progetto “Rapid Charge Network” [17], su un campione di 40 VE che hanno circolato in Gran Bretagna, nell’area contenente la rete delle stazioni veloci del progetto, ha rilevato che l’energia ricaricata a casa è il 71% [18] e solo il 15,9% in stazioni veloci. Delle restanti energie caricate il 3,5% è avvenuto in stazioni pubbliche e i rimanente 9,5 % in altre stazioni private comprendenti anche quelle sul posto di lavoro.

Nel lavoro proposto da Gonzàles ed altri [19] si conclude che in Belgio, su circa 1 milione di veicoli analizzati, l’81% può circolare in elettrico con la sola ricarica notturna, e se si aggiunge la possibilità di una ricarica intermedia durante la sosta, la percentuale sale al 92%. Solo il rimanenti 8% dei veicoli ha bisogno di una ricarica durante il viaggio.

Infine anche per il già citato rapporto [8] dell’Idaho National Laboratory la ricarica veloce risulta modesta infatti ha riscontrato che su 125 milioni di miglia percorse, gli 8.300 VE (tra BEV ed EREV) monitorati, hanno

effettuato 6 milioni di ricariche, e di queste, il 96% per gli EREV ed il 97% per i BEV, è stato effettuato a casa o al lavoro.

### 2.3 Distribuzione nel tempo dell'energia richiesta dalla ricarica veloce

Questa determinazione è eseguita su un solo tipo di veicolo, pertanto si sceglie la Nissan Leaf che rappresenta il veicolo medio perché diversamente da quello piccolo è più idoneo per le medie e lunghe tratte e nello stesso tempo ha un costo del veicolo moderato rispetto a quello della Tesla.

Dalle risultanze precedenti sono noti tutti i viaggi che, utilizzando la Leaf, non possono essere completati perché la batteria si scarica prima dell'arrivo a destinazione. In base ai km mancanti per giungere a destinazione e sapendo che la ricarica verrà completata all'80% del SOC è facile stabilire il numero di ricariche necessarie per completare il viaggio. La situazione, relativa a tutto il campione, e per un intero anno si presenta come in Tabella 2.

**Tabella 2. Valori medi a veicolo della ricarica veloce**

N° Ric. a viaggio	N° viaggi	Tot. ricariche
1	364.782	364.782
2	71.776	143.552
3	21.391	64.173
≥4	12.225	56.390
<b>TOTALE</b>	<b>470.174</b>	<b>628.897</b>

Essendo improponibile effettuare in viaggio più di 3 soste per la ricarica, si ipotizza che i viaggi che richiedono più di 3 ricariche, verranno fatti con altri mezzi di trasporto. I viaggi non considerati sono 12.000, il 2,6% del totale, e rappresentano meno di 1 viaggio a veicolo per un anno.

Del totale viaggi, con ricarica veloce, circa l'80% richiede una sola ricarica. Però nonostante la ricarica sia veloce, per arrivare all'80% del SOC occorrono 34 minuti. E' ipotizzabile che, durante la ricarica veloce, il guidatore valuti l'esatta energia necessaria, non per la sosta successiva ma per arrivare a casa e quindi evitare di ricaricarsi completamente. In questi casi perciò viene simulata una ricarica ridotta tale da arrivare a casa con un margine di riserva fissato a 1,5 kWh.

**Tabella 3. Valori medi annui a veicolo per la ricarica veloce.**

N° di Viaggi con Ric. Vel.	15,3	
N° di Ric. Vel.	19,2	
Ore di Ric. Vel. /anno	7,42	
kWh medi x 1 Ric. Vel.	12,1	(73.1% del max)
Minuti medi x 1 Ric.Vel.	23,2	(68.3% del max)

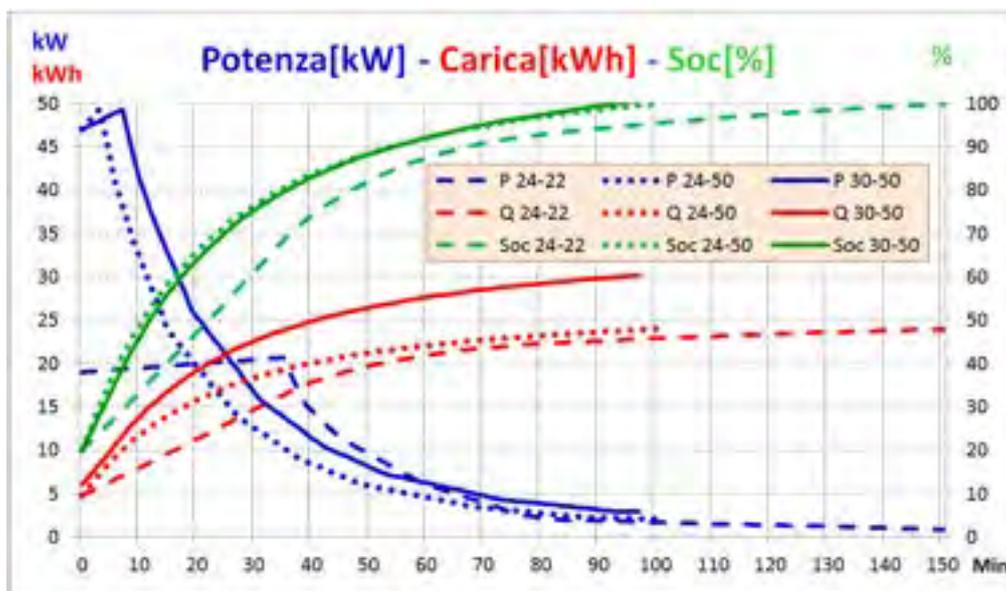
In Tabella 3 si riportano i valori medi delle ricariche, riferite al veicolo, per la durata di 1 anno.

Sintetizzando, un veicolo presenta mediamente 15,3 viaggi/anno con ricariche veloci, con una media a veicolo di 19,2 ricariche, per una durata di 7,42 ore. La singola ricarica dura in media 23,2 minuti e carica 12,1 kWh. Questi ultimi valori sono ben lontani dalla durata di 34 minuti e 16,5 kWh necessari per una ricarica veloce completa.

Anche questi valori sono in linea con quelli ottenuti dal progetto "Rapid Charge Network" [18] infatti qui risulta che l'energia media di ricarica è di 8,9 kWh contro i nostri 12,1 kWh ma va tenuto presente che nel

presente lavoro si è usata la Leaf con la nuova batteria che risulta il 25% più grande del modello che circolava fino al 2015. Per quanto riguarda i tempi di ricarica si hanno 26 minuti contro i nostri 23,2.

Dalla durata delle ricariche e dalla relativa energia scaricata si determina la richiesta elettrica distribuita nel tempo, che sarà utile per capire quante colonnine occorrono per soddisfare questi carichi. Diversamente dalla ricarica lenta, quella veloce non può lavorare alla potenza di targa ma deve scendere di intensità, per adeguarsi, man mano si ricarica, allo stato di carica della batteria.



**Figura 8. Andamento di Potenza, Carica e Soc durante la carica. Le linee continue si riferiscono alla nuova batteria da 30 kWh della Leaf con ricarica a 50 kW. Le altre linee si riferiscono alla vecchia batteria da 24 kWh e con ricariche da 22 e 50 kW.**

Poiché la Leaf monta solo da questo anno la batteria da 30 kWh, non si dispone della sua curva di carico quando questa è collegata ad una colonnina da 50 kW. Pertanto queste curve si ricavano dalle curve sperimentali [15] della precedente batteria da 24 kWh sottoposta alle ricariche da 22 e 50 kW mostrate rispettivamente dalle linee tratteggiate e a punti in Figura 8.

Da un'interpolazione delle precedenti curve si ricavano quelle continue rappresentate in figura, che verranno usate per i calcoli. In pratica visto che mediamente il veicolo non arriverà mai alla colonnina con un SOC limite del 20% di carica, si stabilisce che la carica media di arrivo alla colonnina è del 25%. In queste condizioni la ricarica completa all'80% dura 34 minuti con una ricarica di 16,5 kWh che garantisce un'ulteriore percorrenza di 104,5 km.

Nella Figura 9 si riporta l'andamento giornaliero del numero dei veicoli contemporaneamente in carica, di tutto il campione. Nell'ordinata di sinistra è riportato il numero dei veicoli in carica mentre a destra è riportato lo stesso numero normalizzato, ossia diviso per il numero dei veicoli del campione. Siccome c'è una grande variabilità tra i diversi giorni dell'anno, si è preferito riportare la curva verde, che in ogni punto rappresenta la mediana dei 365 punti disponibili. L'area gialla, invece, raccoglie tutti i punti compresi tra i percentili del 10 e del 90%.

Le variazioni tra differenti giorni dipendono molto dal mese e dal giorno settimanale. La variazione mensile è visibile dai grafici di Figura 10. Qui è riportato in verde la mediana tra i giorni di ogni singolo mese ed in giallo l'area delimitata dai percentili del 10 e 90%. Nei mesi invernali, tipo gennaio e febbraio, si osservano un numero di richieste inferiori che aumentano nei mesi estivi in particolare ad agosto.

Si riscontra che le richieste si distribuiscono prevalentemente durante il giorno tra le 10 e le 20 caratterizzate da 2 picchi, uno intorno alle 12 ed uno intorno alle 18. Si riscontra che quando c'è un aumento delle richieste di ricarica causata dalla presenza di lunghi viaggi, come in agosto, il picco più alto è quello delle 12. Diversamente, in condizioni ordinarie, prevale il picco serale delle 18.

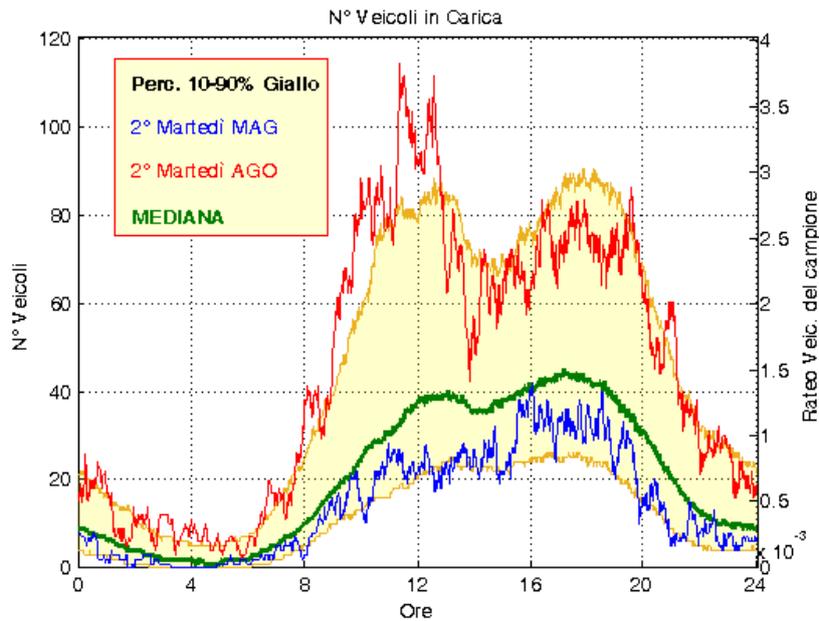


Figura 9. Andamenti giornalieri del numero dei veicoli collegati ed in carica.

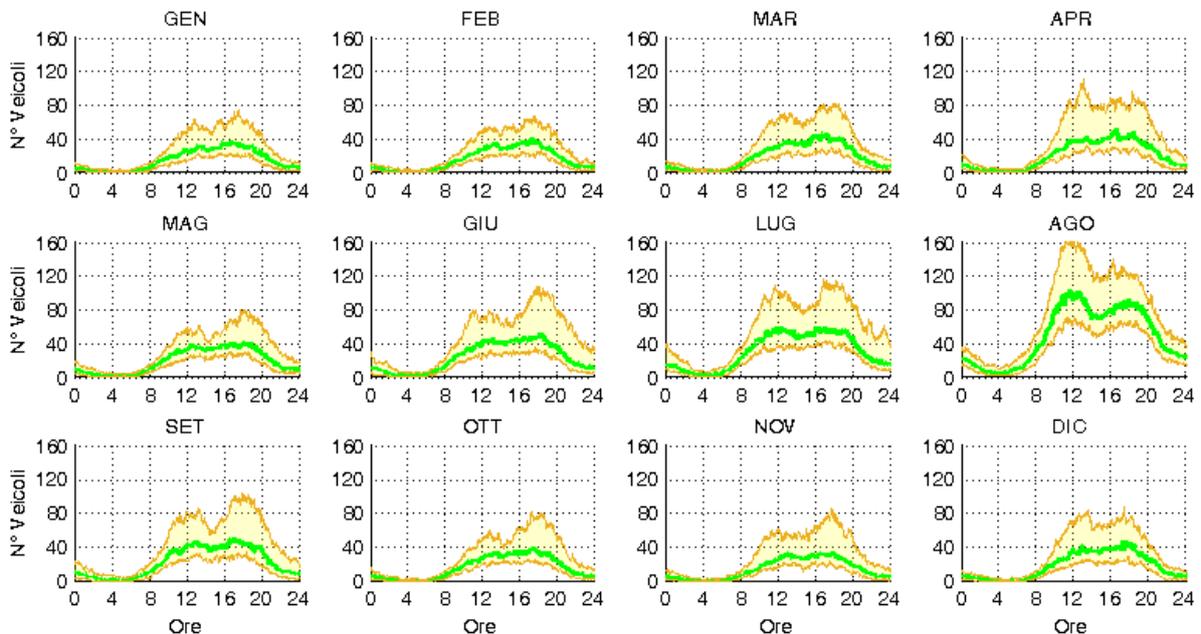
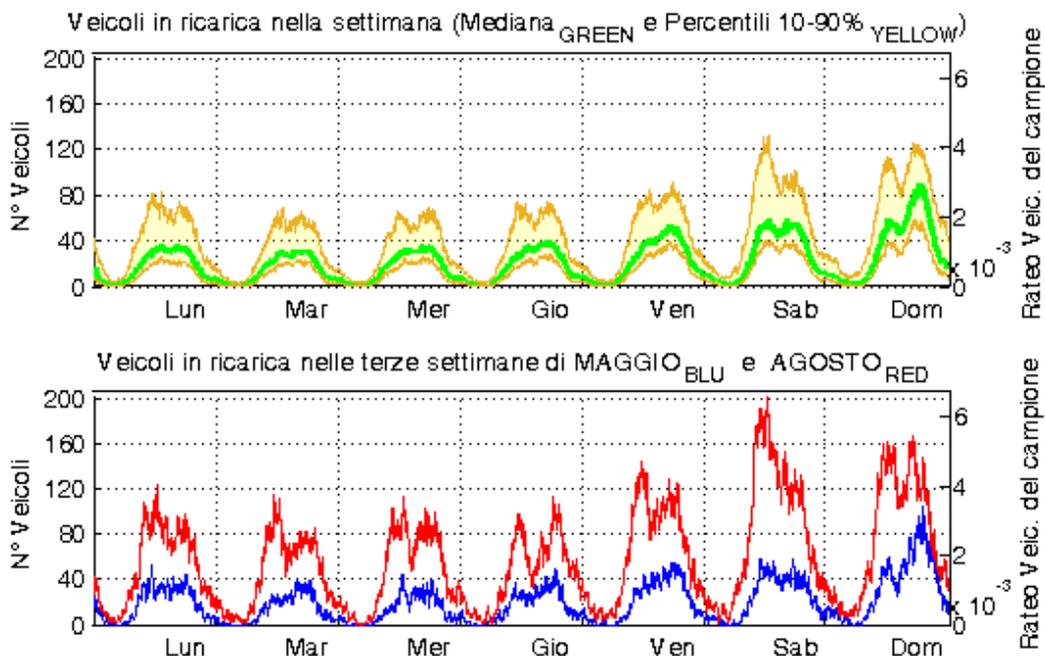


Figura 10. Andamenti giornalieri del numero dei veicoli in carica. Le mediane verdi e l'area gialla dei percentili 10-90% sono relative al singolo mese.

Queste distribuzioni concordano con i risultati ottenuti dall'Idaho National Laboratory nel "EV Project" [16].

Infine nella Figura 11, degli andamenti settimanali, sono evidenti le relative variazioni giornaliere. Nel grafico superiore, la linea verde mostra la mediana dei 52 andamenti settimanali mentre l'area gialla ne segna il confine tra i percentili del 10 e 90%. Nella parte inferiore, della stessa figura, è mostrata la 3<sup>a</sup> settimana di maggio (blu) e quella di agosto (rossa).



**Figura 11. Andamenti settimanali del numero dei veicoli in carica. In alto la mediana verde e l'area gialla dei percentili 10-90% relativa alle 52 settimane. In basso 3<sup>a</sup> settimana di maggio (blu) e agosto (rossa).**

Si vede che, mentre la settimana di maggio si attesta verso i valori prossimi alla mediana, i valori della settimana di agosto superano addirittura la linea del percentile del 90%. E' interessante notare che i picchi massimi di agosto si presentano in mattinata evidenziando la presenza di lunghi viaggi sin dalle prime ore del giorno. A maggio invece i massimi si presentano nelle ore serali a denotare che parte della richiesta nasce dalla somma di più viaggi di media distanza.

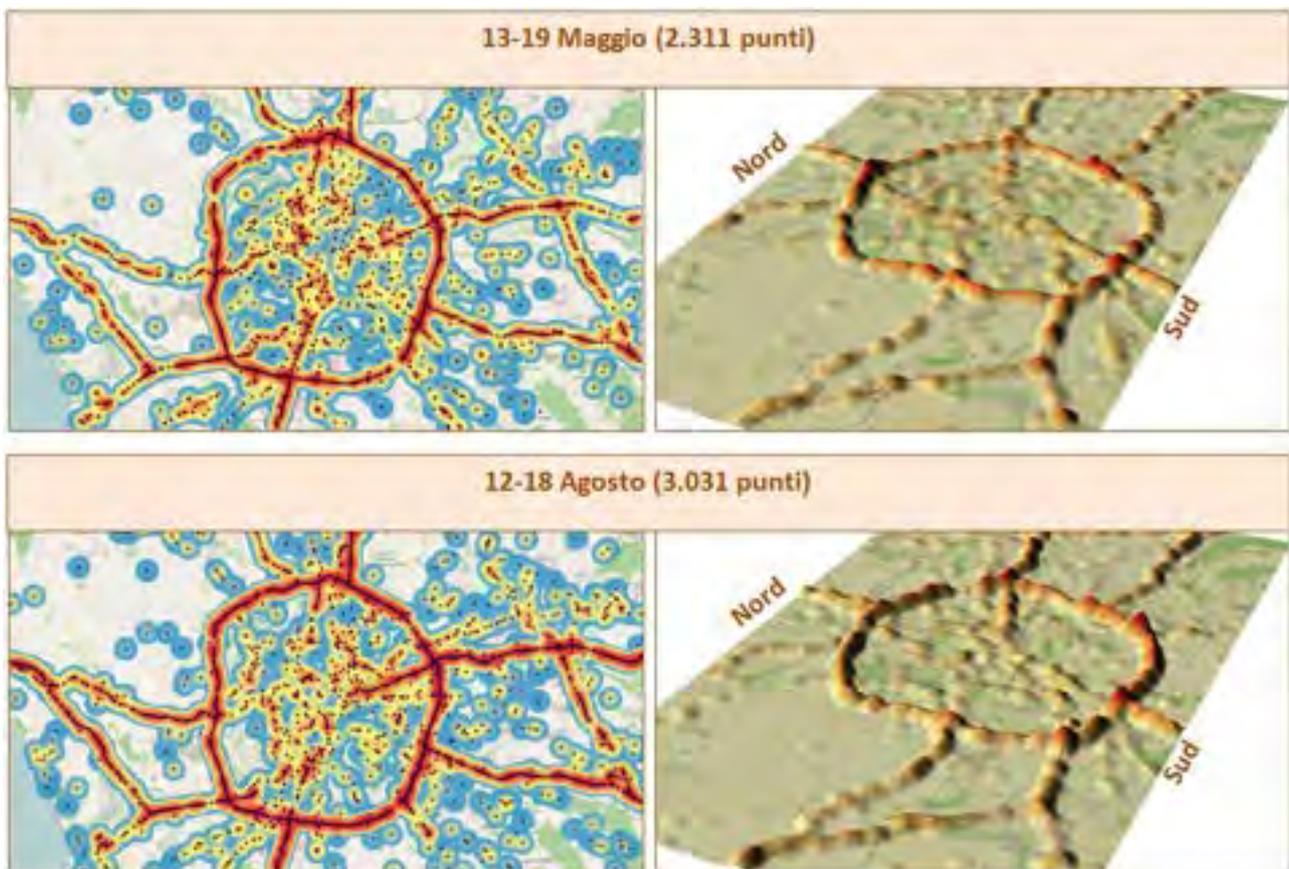
## 2.4 Distribuzione spaziale dell'energia richiesta dalla ricarica veloce

I risultati ottenuti dal lavoro descritto nel precedente paragrafo sono stati utilizzati anche per fare un'analisi spaziale dei punti dove c'è la necessità di ricarica.

I dati di monitoraggio utilizzati contengono, per ogni traiettoria veicolare, le posizioni geografiche registrate con una frequenza di campionamento variabile: ogni due chilometri sulla rete stradale ordinaria e ogni 30 secondi sulla rete autostradale. Essendo questi dati georiferiti, è possibile ottenere, oltre alla distribuzione nel tempo dell'energia richiesta dalla ricarica veloce, anche la sua distribuzione spaziale sul territorio analizzato.

Nelle simulazioni effettuate, in base al SOC di inizio viaggio ed alla distanza percorsa, per ogni punto delle traiettorie di un veicolo è noto il valore del SOC della batteria. E' possibile quindi individuare, in corrispondenza dei viaggi critici, le coordinate dei punti per i quali questo valore scende al di sotto della soglia prestabilita del 25% di carica residua, in corrispondenza dei quali il veicolo per proseguire il suo viaggio ha necessità di una ricarica veloce. Ad ognuno di questi punti è inoltre associato il valore in kWh di energia richiesta per la ricarica, dipendente dalla simulazione effettuata.

Visualizzando su una base cartografica i punti così individuati, si ottiene la mappa di distribuzione della potenziale domanda di ricarica veloce. La visualizzazione dei soli punti sulla mappa non è sufficiente per rappresentare in modo efficace la distribuzione di densità della richiesta di energia. Attraverso tecniche GIS (Geographical Information System) di analisi di densità, le grandezze in corrispondenza di elementi puntuali possono essere interpolate generando superfici continue nello spazio, che rappresentano meglio l'andamento della distribuzione territoriale del fenomeno. Per generare le mappe si è fatto ricorso alla tecnica Kernel Density Estimation (KDE), utilizzando il tool presente all'interno dell'estensione Spatial Analyst del software ArcGis [20]. L'area di studio viene discretizzata in una griglia di celle (pixel) e per ogni cella viene calcolato un valore di densità. Per ogni punto di ricarica viene generata, tramite una funzione kernel, una superficie di forma circolare con il valore massimo in corrispondenza del punto e progressivamente decrescente all'aumentare della distanza dal punto, fino a raggiungere il valore nullo alla distanza pari ad un valore prestabilito (larghezza di banda). Il volume al di sotto della superficie è pari al valore della grandezza associata al punto (in questo caso l'entità della ricarica). La densità per ogni cella è calcolata sommando i valori di tutte le superfici in corrispondenza del centro della cella. Nel caso in oggetto la dimensione del pixel è pari a 50 metri e la larghezza di banda pari a 1000 metri.



**Figura 12. Mappe di distribuzione della potenziale domanda di ricarica veloce a confronto tra le settimane 13-19 Maggio (in alto) e 12-18 Agosto (in basso), nella zona del GRA di Roma.**

In Figura 12 sono riportate le mappe relative alla zona comprendente il GRA più l'area circostante, per le settimane 13-19 Maggio e 12-18 Agosto e per lo scenario Nissan Leaf - Ricarica lenta solo casa.

Come era prevedibile la domanda di ricarica si concentra in corrispondenza delle strade dove sono maggiori i flussi di traffico di media e lunga percorrenza. Inoltre nella settimana 12-18 Agosto si ha un notevole incremento del numero di punti di ricarica (3.031 rispetto ai 2.311 della settimana di Maggio), in quanto nella settimana di ferragosto aumentano i lunghi viaggi da, e verso, le località di villeggiatura.

Si nota che il 30% circa di punti in più di agosto, non si distribuisce uniformemente, ma si concentra principalmente sulle autostrade e relative diramazioni.

Invece osservando l'interno del raccordo si vede che anche in città le concentrazioni sono prevalentemente sulle arterie principali.

### 3 Conclusioni

La disponibilità, di una più fitta rete di colonnine di ricarica veloce contribuirebbe certamente ad un più rapido sviluppo dei veicoli ma a costo di notevoli investimenti che rischierebbero di essere in parte inadeguati per il futuro.

Sia il lavoro qui svolto, sia quelli raccolti in letteratura, e realizzati anche con altri criteri, concordano nel dire che l'energia ricaricata da queste colonnine rappresenta una modesta percentuale che nelle varie situazioni si mantiene attorno al 15% del totale.

Anche se modesta, questa percentuale è quella che risolve però le situazioni di crisi in diversi casi ed inoltre anche se non utilizzata, la sua presenza dà al conducente la tranquillità di viaggiare senza avere la preoccupazione di rimanere per strada.

Tutti questi buoni motivi spingono ad avere una rete veloce di ricarica molto diffusa.

Purtroppo però nonostante la velocità della ricarica, quasi a nessuno piace fermarsi 30 minuti, durante il viaggio, per ricaricarsi. Ed è proprio questo fattore che mette a rischio l'inadeguatezza delle attuali colonnine per il futuro.

Pertanto in queste condizioni nel realizzare la rete di ricarica veloce è bene puntare molto sull'ottimizzazione della loro distribuzione piuttosto che ad una massiccia diffusione tenendo anche conto da quanto visto con gli impianti fotovoltaici che, una volta partita la commercializzazione, i costi tendono a ridursi notevolmente e anche con miglioramenti nelle prestazioni.

Il presente lavoro è stato indirizzato nella diffusione dei sistemi di ricarica rapida ottimizzando però le scelte per determinare la posizione ed il numero di colonnine prevedibili.

## 4 Riferimenti bibliografici

1. <http://www.veicolielettricinews.it/standard-ricarica-dc-domina-mercato-oggi/>
2. <http://www.chademo.com/>
3. [http://www.chademo.com/wp/wp-content/uploads/2016/04/brochure\\_04.2016.compressed.pdf](http://www.chademo.com/wp/wp-content/uploads/2016/04/brochure_04.2016.compressed.pdf)
4. <http://www.teslarati.com/tesla-planning-superchargers-europe-2016/>
5. <http://insideevs.com/tesla-details-2016-supercharging-plans-europe-closing-300-stations/>
6. <http://ccs-map.eu/>
7. G. Giuli, M. Mancini, "Studio delle interrelazioni tra il sistema elettrico e quello dei trasporti urbani", Report RdS/2014/101 (2014), pp. 25
8. <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/arra/SummaryReport.pdf>, INL/EXT-15-3558, Idaho National Laboratory, 2015, pp. 6-11
9. <http://www.veicolielettricinews.it/i-primi-100mila-km-di-una-toyota-mirai-fuel-cell/>
10. [http://motori.corriere.it/motori/prove\\_strada/14\\_novembre\\_23/toyota-mirai-idrogeno-prova-f340af9a-7332-11e4-9964-9b0d57bdf835.shtml](http://motori.corriere.it/motori/prove_strada/14_novembre_23/toyota-mirai-idrogeno-prova-f340af9a-7332-11e4-9964-9b0d57bdf835.shtml)
11. <http://www.octotelematics.com/it>
12. A. Genovese, G. Giuli, M. Mancini, "Elettromobilità urbana e Sistemi di Ricarica Multisorgente", Report RdS/2015/105 (2015), pp. 13 e seg.
13. E. Grunditz, T. Thiringer, "Performance Analysis of Current BEVs - Based on a Comprehensive Review of Specifications", IEEE Transactions on Transportation Electrification, Volume 2, Issue 3, (Sept. 2016)
14. [http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
15. 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
16. <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/EVProj/WhatWereTheUsePatternsObservedAtHighlyUtilize dDCFCsites.pdf>, INL/EXT-15-35816, pp. 2.
17. <http://rapidchargenetwork.com/>
18. J. Serradilla, C. Pinna, G. Graeme Hill, Amy Guo, "Rapid charge network activity 6 Study report", RCN, Newcastle University, (Dec 2015), pp. 3-4.  
[http://rapidchargenetwork.com/public/wax\\_resources/RCN%20Project%20Study%20Report%20Feb%202016.pdf](http://rapidchargenetwork.com/public/wax_resources/RCN%20Project%20Study%20Report%20Feb%202016.pdf)
19. J. González, R. Alvaroa, C. Gamalloa, M. Fuentes, J. Fraile-Ardanuya, L. Knapenb, D. Janssensb, "Determining Electric Vehicle Charging Point Locations Considering Drivers' Daily Activities", 4th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2014), Elsevier, 2014, pp. 5.
20. Andy Mitchell, "The ESRI Guide To GIS Analysis Volume 1: Geographic Patterns & Relationships", (1999), ESRI Press

## 5 Abbreviazioni ed acronimi

BEV	= Battery Electric Vehicle. Veicolo con motore esclusivamente elettrico.
EREV	= Extended-Range Electric Vehicles
FCV	= Fuel Cell Vehicle.
GIS	= Geographical Information System.
KDE	= Kernel Density Estimation
NECD	= New European Driving Cycle
PEV	= Plug-in Electric Vehicle. In sintesi comprende sia i BEV e sia i PHEV.
PHEV	= Plug-in Hybrid Electric Vehicle.
SOC	= State Of Charge.
VE	= Veicolo Elettrico.

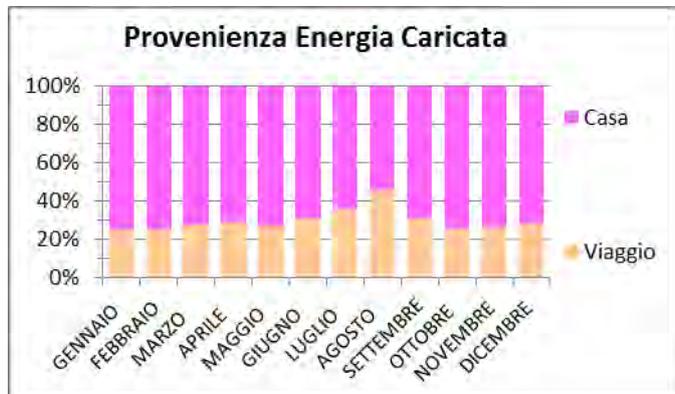
## 6 APPENDICE

### 6.1 C-Zero

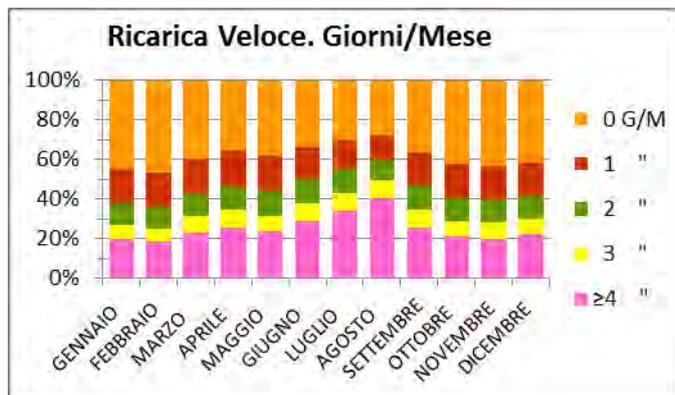
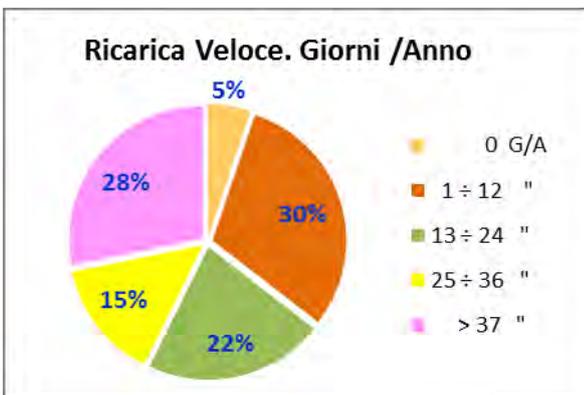
#### 6.1.1 C-Zero. Ricarica solo a casa

**Tabella 4. Scheda C-Zero. Ricarica solo a casa.**

Caratteristiche veicolo			
Modello	C-Zero		
Batteria	14,5	[ kWh]	
Consumo	126	[ Wh/km]	
Autonomia	92	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
Casa	Si	3	69,6
Lavoro	-	-	0,0
Altre Soste	-	-	0,0
Viaggio	Si	50	30,4
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	29.867	[N°]	
Percorrenza annua	11.817	[km]	
Energia caricata	46.810	[MWh]	



**Figura 13. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).**



**Figura 14. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.**

6.1.2 C-Zero. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.

Tabella 5. Scheda C-Zero. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.

Caratteristiche veicolo			
Modello	C-Zero		
Batteria	14,5	[ kWh]	
Consumo	126	[ Wh/km]	
Autonomia	92	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
Casa	Si	3	0,6
Lavoro	Si	6,6	361,9
Altre Soste	Si	03	12,9
Viaggio	Si	50	41,8
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	29.867	[N°]	
Percorrenza annua	11.817	[km]	
Energia caricata	46.810	[MWh]	

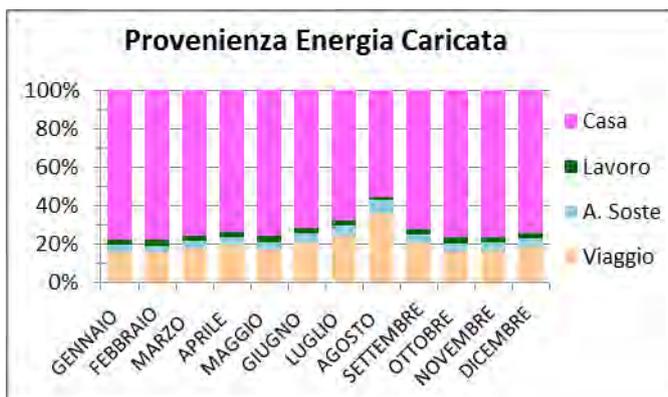
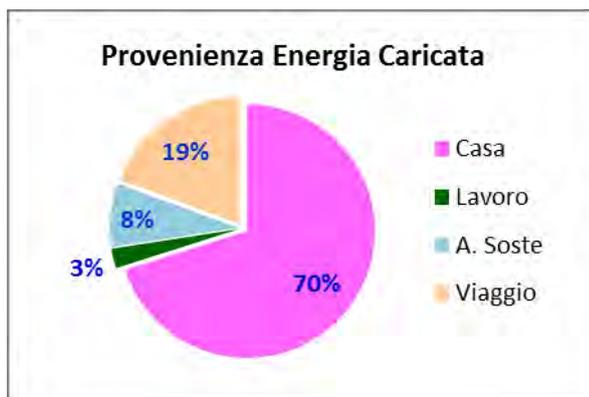


Figura 15. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

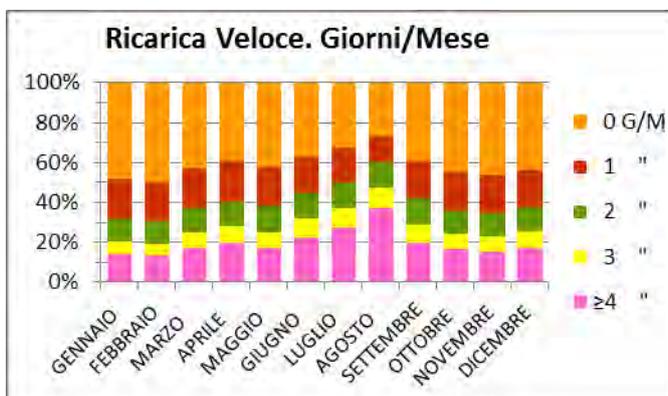
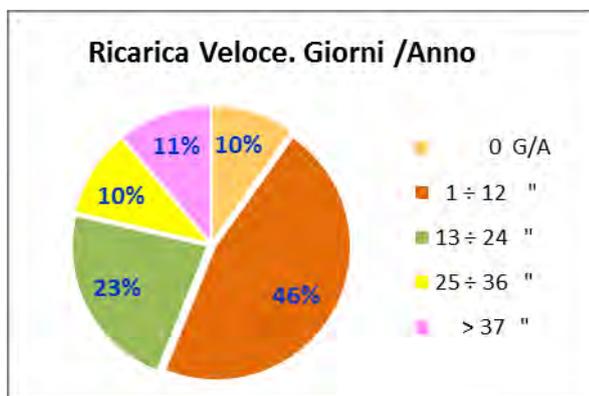


Figura 16. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

### 6.1.3 C-Zero. Ricarica solo al Lavoro.

**Tabella 6. Scheda C-Zero. Ricarica solo al Lavoro.**

Caratteristiche veicolo			
<b>Modello</b>	C-Zero		
<b>Batteria</b>	14,5	[ kWh]	
<b>Consumo</b>	126	[ Wh/km]	
<b>Autonomia</b>	92	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
<b>Casa</b>	-	-	0,0
<b>Lavoro</b>	Si	6,6	54,9
<b>Altre Soste</b>	-	-	0,0
<b>Viaggio</b>	Si	50	45,1
Dati del Campione			
<b>N.Veicoli Campione</b>	6.109	[N°]	
<b>Percorrenza annua</b>	13.912	[km]	
<b>Energia caricata</b>	11.272	[MWh]	

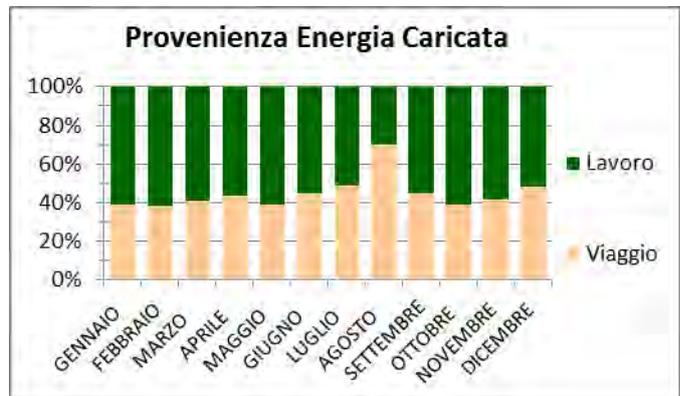


Figura 17. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

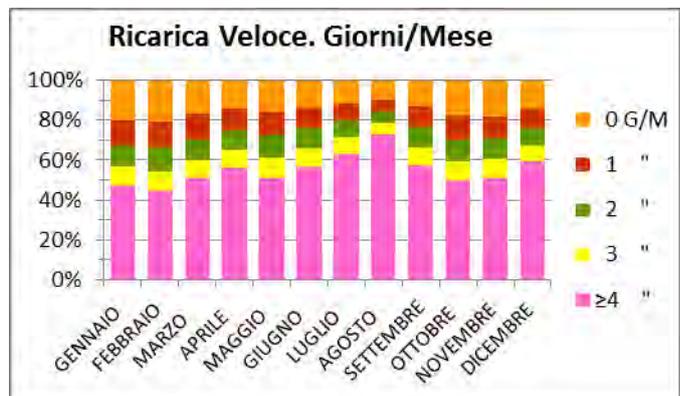
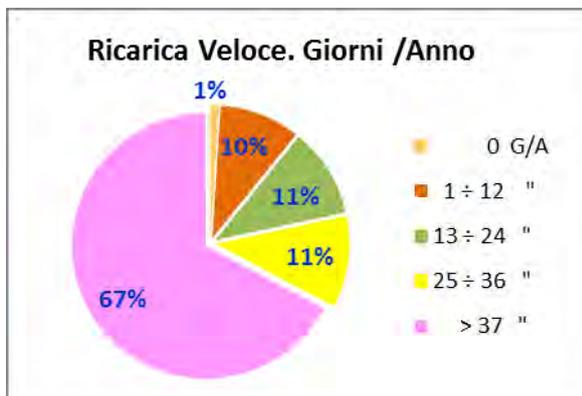


Figura 18. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

6.1.4 C-Zero. Ricarica al Lavoro più soste generiche.

Tabella 7. Scheda C-Zero. Ricarica al Lavoro più soste generiche.

Caratteristiche veicolo			
Modello	C-Zero		
Batteria	14,5	[ kWh]	
Consumo	126	[ Wh/km]	
Autonomia	92	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
Casa	-	-	0,0
Lavoro	Si	6,6	44,6
Altre Soste	Si	03	33,3
Viaggio	Si	50	22,1
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	6.109	[N°]	
Percorrenza annua	13.912	[km]	
Energia caricata	11.272	[MWh]	

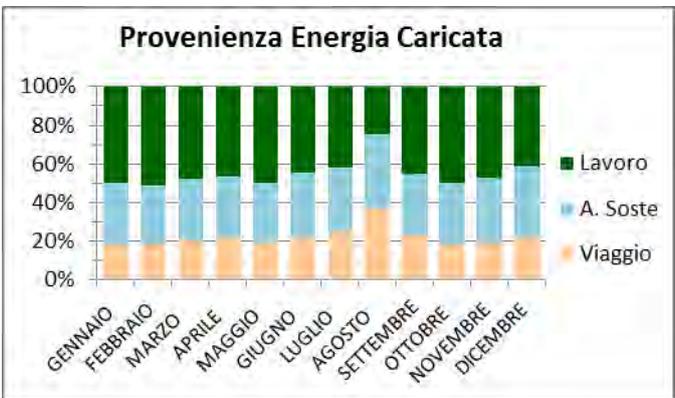
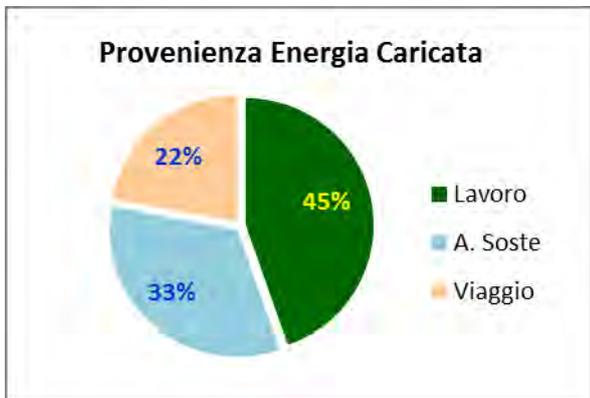


Figura 19. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

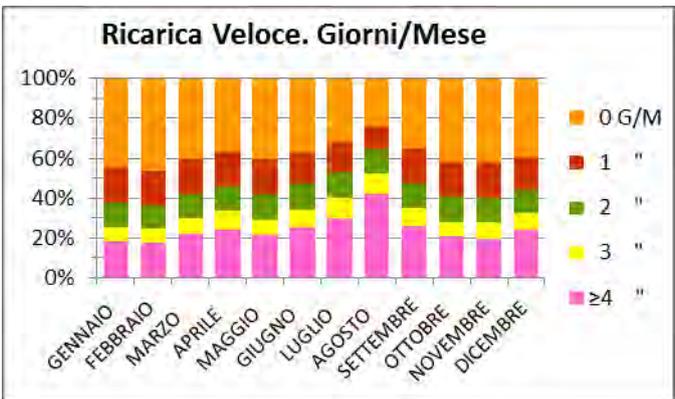
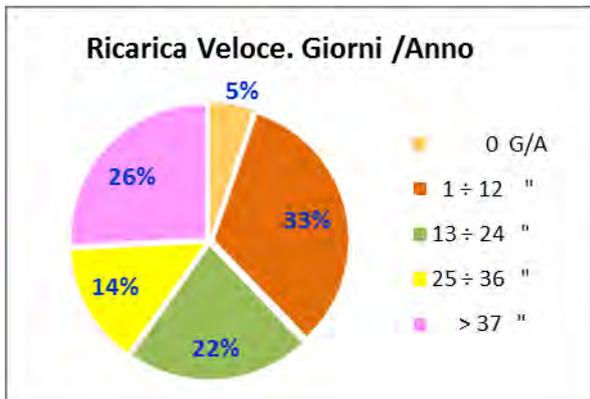


Figura 20. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

## 6.2 Nissan Leaf

### 6.2.1 Nissan Leaf. Ricarica solo a casa

Tabella 8. Scheda Nissan Leaf. Ricarica solo a casa.

Caratteristiche veicolo			
<b>Modello</b>	Leaf30		
<b>Batteria</b>	30,0	[ kWh]	
<b>Consumo</b>	150	[ Wh/km]	
<b>Autonomia</b>	160	[ km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
<b>Casa</b>	Si	3	81,3
<b>Lavoro</b>	-	-	0,0
<b>Altre Soste</b>	-	-	0,0
<b>Viaggio</b>	Si	50	18,7
Dati del Campione			
<b>N.Veicoli Campione</b>	29.867	[N°]	
<b>Percorrenza annua</b>	11.817	[km]	
<b>Energia caricata</b>	55.727	[MWh]	

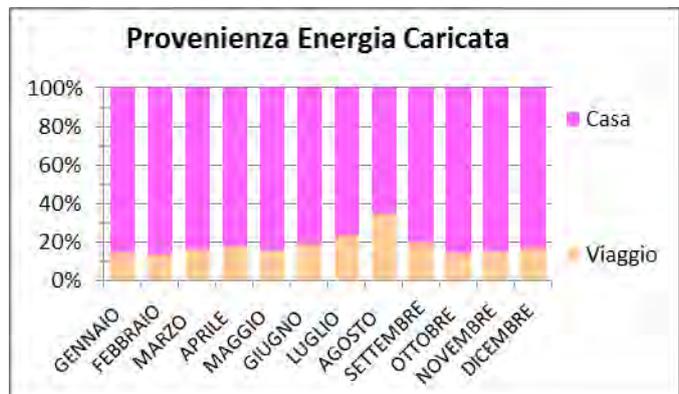
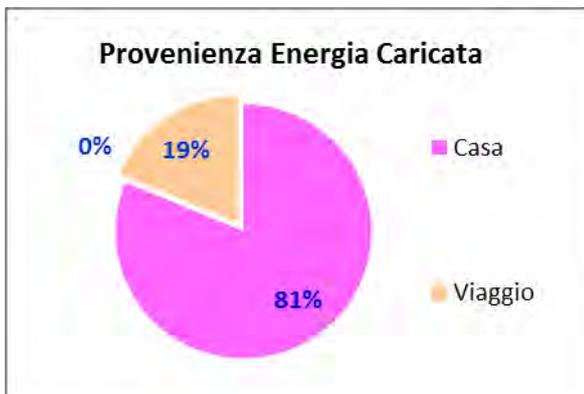


Figura 21. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

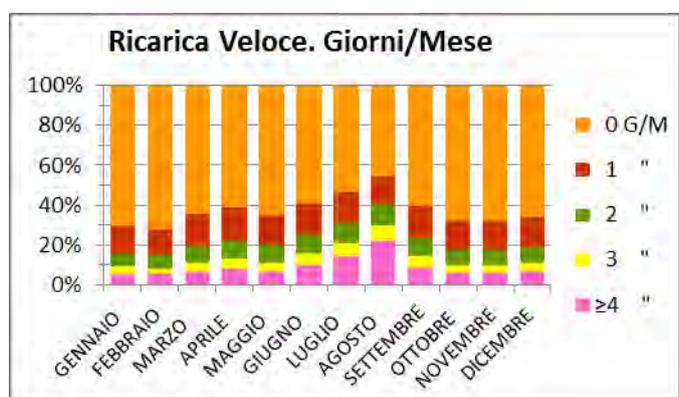
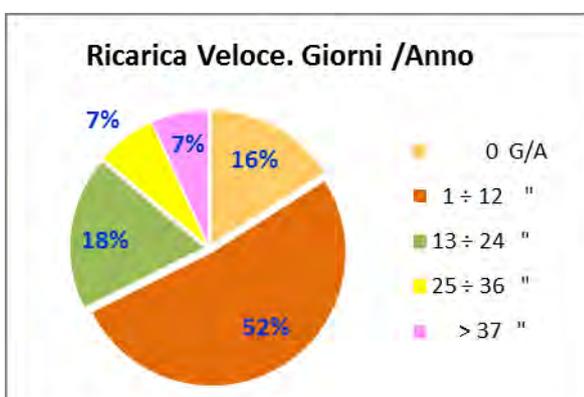


Figura 22. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

6.2.2 Nissan Leaf. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.

Tabella 9. Scheda Nissan Leaf. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.

Caratteristiche veicolo			
Modello	Leaf30		
Batteria	30,0	[ kWh]	
Consumo	150	[ Wh/km]	
Autonomia	160	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
Casa	Si	3	81,6
Lavoro	Si	6,6	0,8
Altre Soste	Si	03	4,1
Viaggio	Si	50	13,5
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	29.867	[N°]	
Percorrenza annua	11.817	[km]	
Energia caricata	55.727	[MWh]	

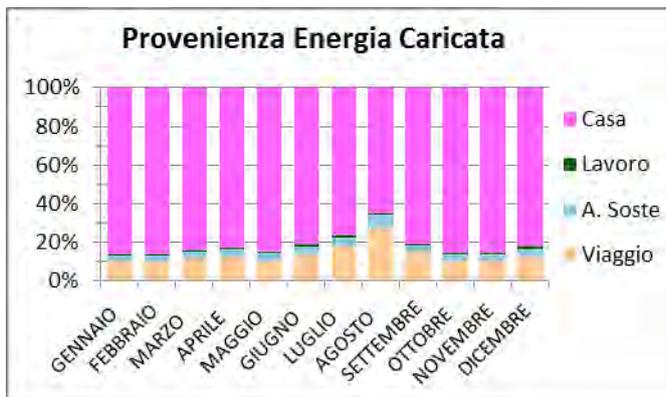
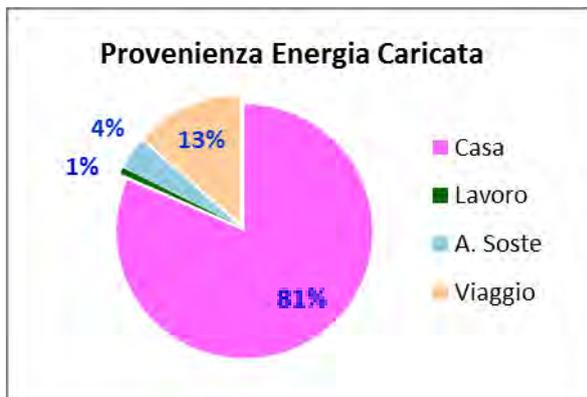


Figura 23. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

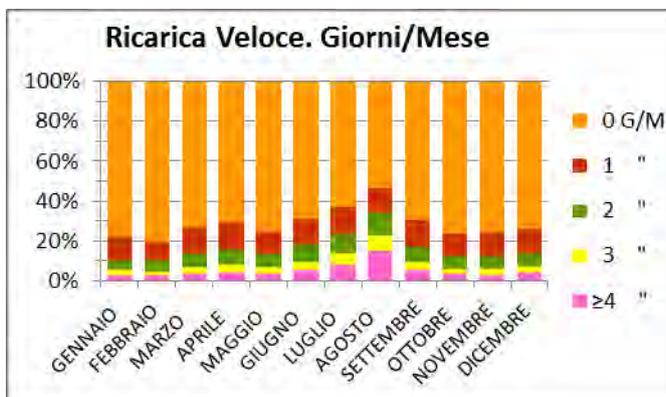
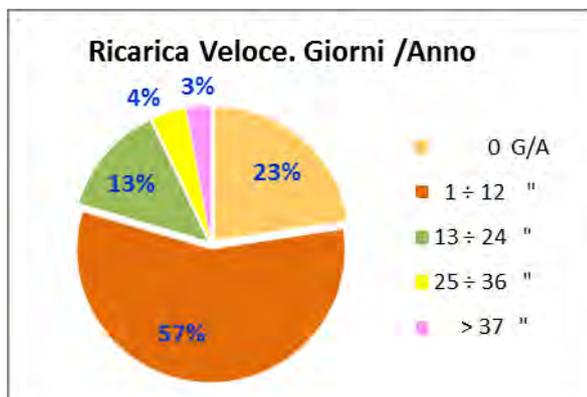
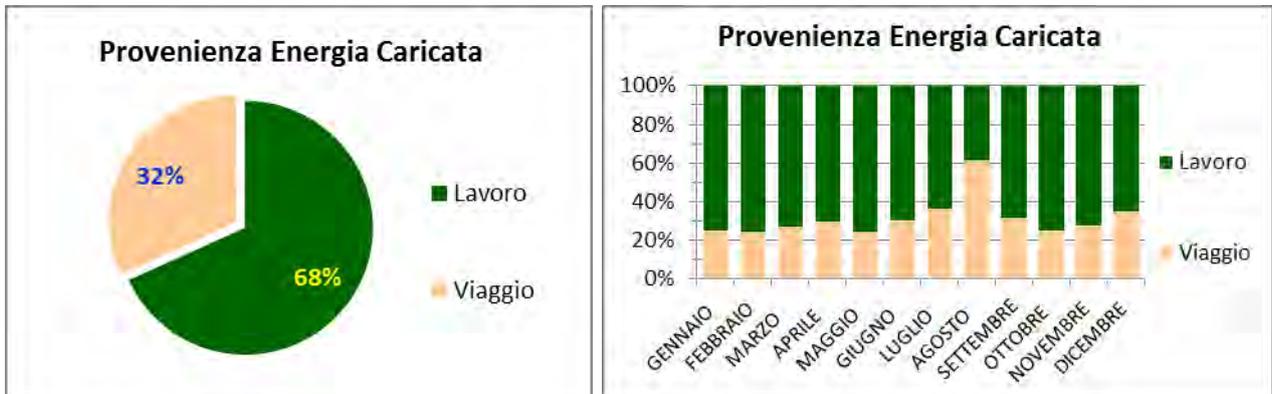


Figura 24. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

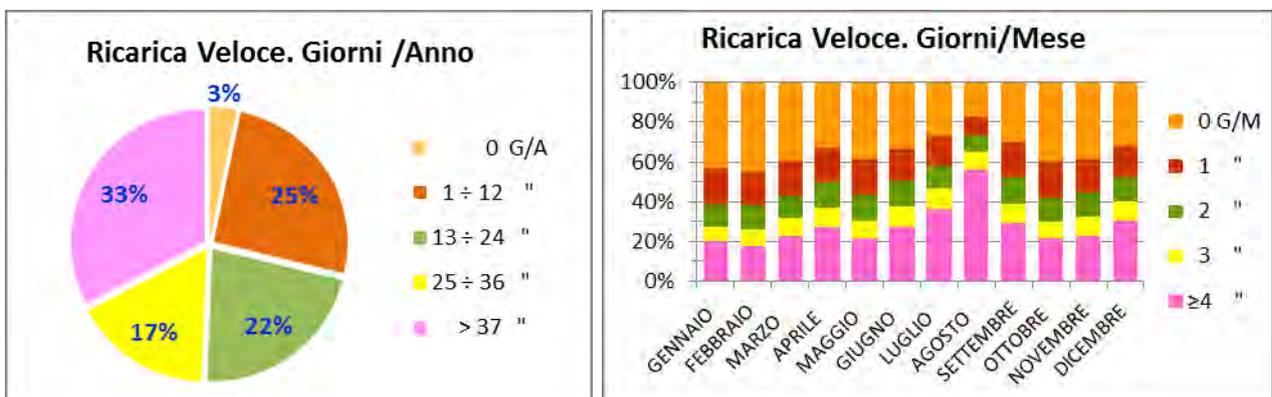
### 6.2.3 Nissan Leaf. Ricarica solo al Lavoro.

**Tabella 10. Scheda Nissan Leaf. Ricarica solo al Lavoro.**

Caratteristiche veicolo			
<b>Modello</b>	Leaf30		
<b>Batteria</b>	30,0	[ kWh]	
<b>Consumo</b>	150	[ Wh/km]	
<b>Autonomia</b>	160	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
<b>Casa</b>	-	-	0,0
<b>Lavoro</b>	Si	6,6	68,2
<b>Altre Soste</b>	-	-	0,0
<b>Viaggio</b>	Si	50	31,8
Dati del Campione			
<b>N.Veicoli Campione</b>	6.109	[N°]	
<b>Percorrenza annua</b>	13.912	[km]	
<b>Energia caricata</b>	13.419	[MWh]	



**Figura 25. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).**



**Figura 26. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.**

6.2.4 Nissan Leaf. Ricarica al Lavoro più soste generiche.

Tabella 11. Scheda Nissan Leaf. Ricarica al Lavoro più soste generiche.

Caratteristiche veicolo			
Modello	Leaf30		
Batteria	30,0	[ kWh]	
Consumo	150	[ Wh/km]	
Autonomia	160	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza	Energia Caricata
		[kW]	[%]
Casa	-	-	0,0
Lavoro	Si	6,6	51,6
Altre Soste	Si	03	35,2
Viaggio	Si	50	13,2
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	6.109	[N°]	
Percorrenza annua	13.912	[km]	
Energia caricata	13.419	[MWh]	

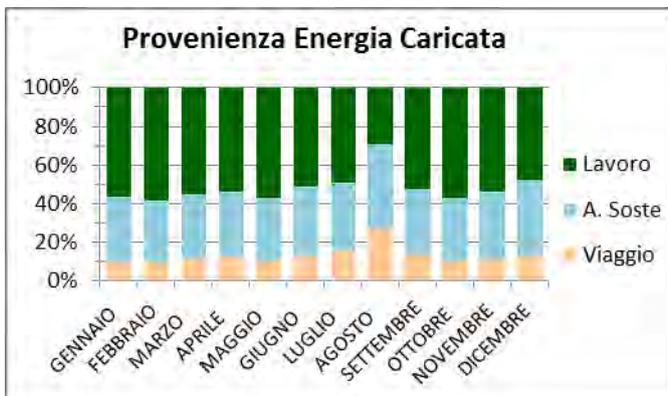
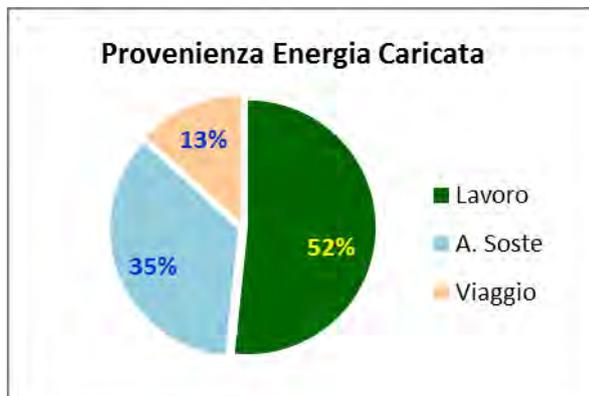


Figura 27. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

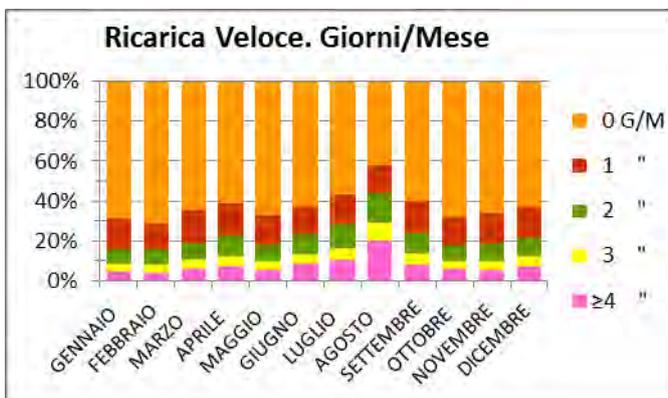
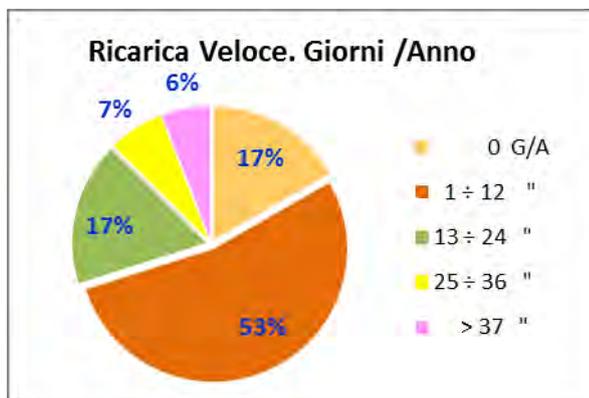


Figura 28. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

### 6.3 Tesla S60

#### 6.3.1 Tesla S60. Ricarica solo a casa.

Tabella 12. Scheda Tesla S60. Ricarica solo a casa.

Caratteristiche veicolo			
Modello	Tes60S		
Batteria	60,0	[ kWh]	
Consumo	188	[ Wh/km]	
Autonomia	255	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
Casa	Si	3	87,1
Lavoro	-	-	0,0
Altre Soste	-	-	0,0
Viaggio	Si	50	12,9
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	29.867	[N°]	
Percorrenza annua	11.817	[km]	
Energia caricata	69.844	[MWh]	

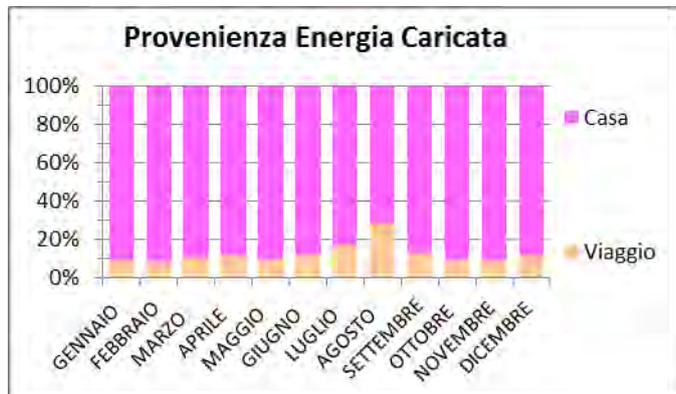


Figura 29. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

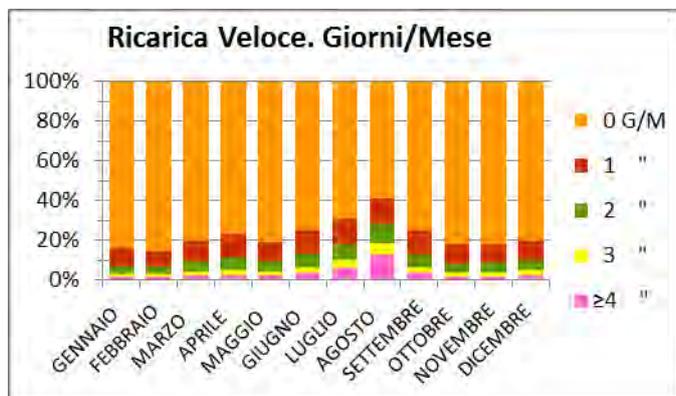
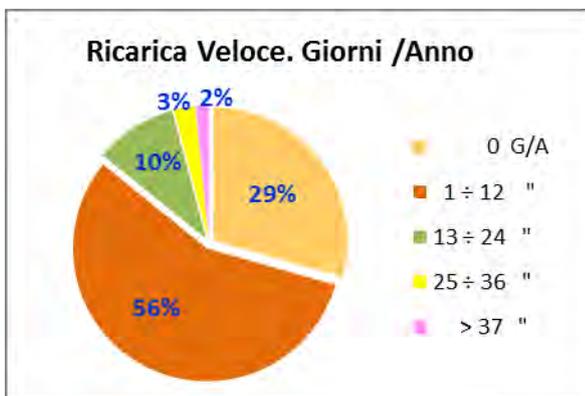


Figura 30. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

6.3.2 Tesla S60. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche

Tabella 13. Scheda Tesla S60. Ricarica a casa, lavoro e soste generiche.

Caratteristiche veicolo			
<b>Modello</b>	Tes60S		
<b>Batteria</b>	60,0	[ kWh]	
<b>Consumo</b>	188	[ Wh/km]	
<b>Autonomia</b>	255	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
<b>Casa</b>	Si	3	85,5
<b>Lavoro</b>	Si	6,6	0,9
<b>Altre Soste</b>	Si	3	4,2
<b>Viaggio</b>	Si	50	9,4
Dati del Campione			
<b>N.Veicoli Campione</b>	29.867	[N°]	
<b>Percorrenza annua</b>	11.817	[km]	
<b>Energia caricata</b>	69.844	[MWh]	

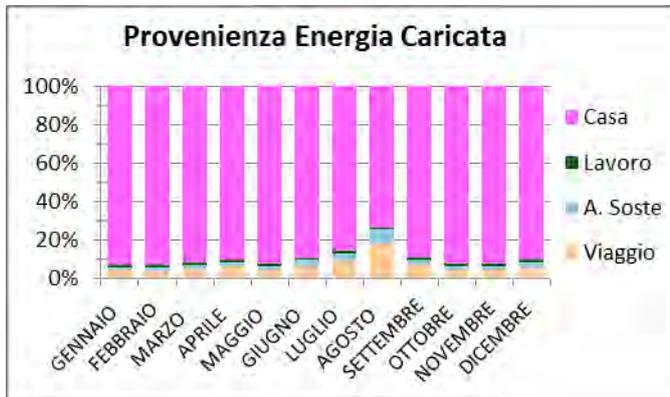
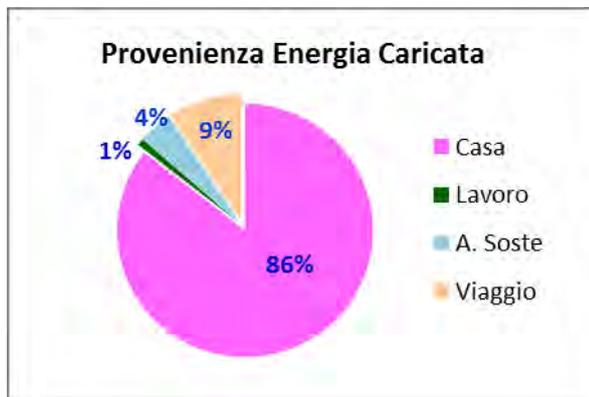


Figura 31. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

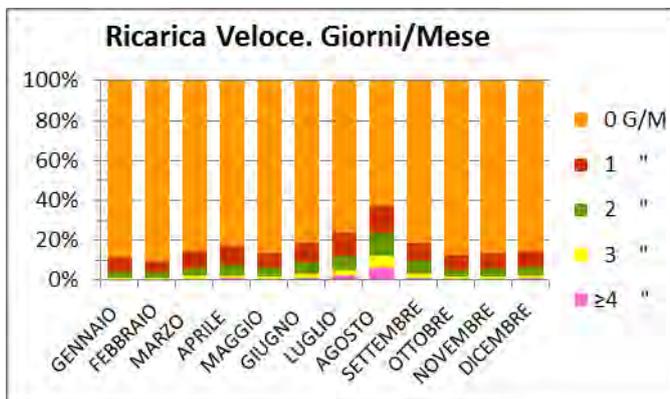
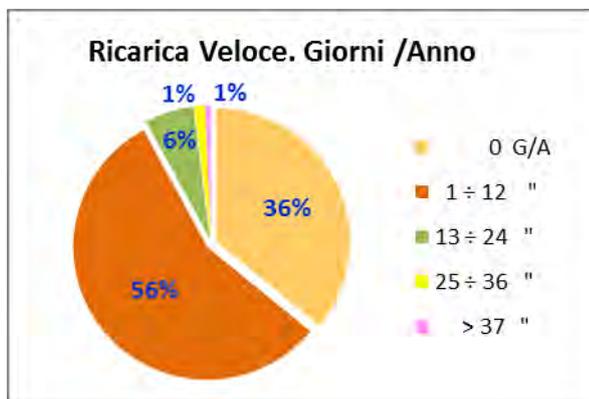
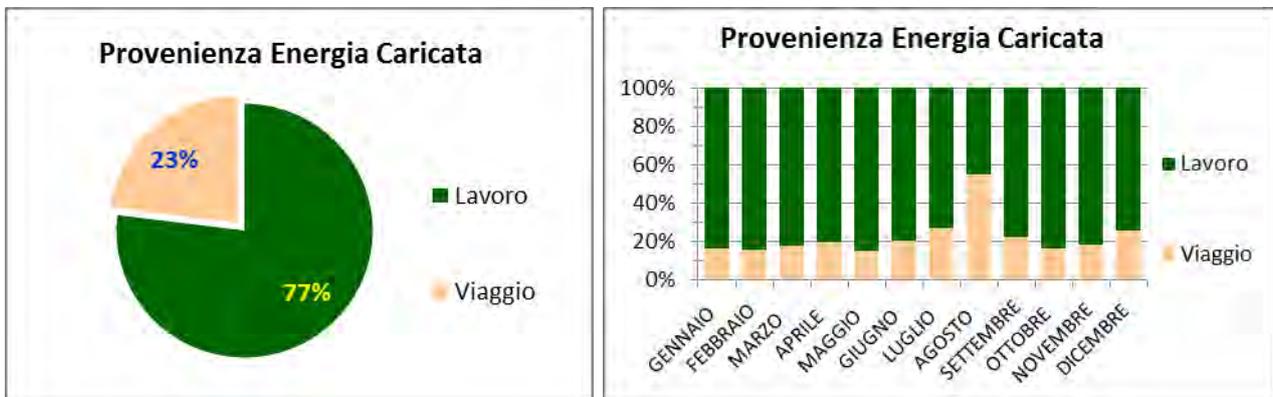


Figura 32. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.

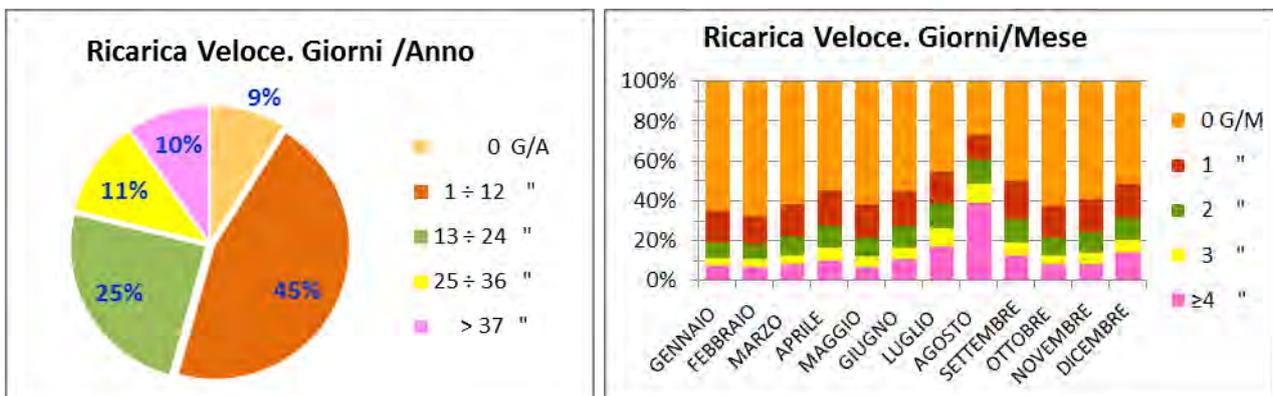
### 6.3.3 Tesla S60. Ricarica solo al Lavoro

**Tabella 14. Scheda Tesla S60. Ricarica solo a casa.**

Caratteristiche veicolo			
<b>Modello</b>	Tes60S		
<b>Batteria</b>	60,0	[ kWh]	
<b>Consumo</b>	188	[ Wh/km]	
<b>Autonomia</b>	255	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza [kW]	Energia Caricata [%]
<b>Casa</b>	-	-	0,0
<b>Lavoro</b>	Si	6,6	76,9
<b>Altre Soste</b>	-	-	0,0
<b>Viaggio</b>	Si	50	23,1
Dati del Campione			
<b>N.Veicoli Campione</b>	6.109	[N°]	
<b>Percorrenza annua</b>	13.912	[km]	
<b>Energia caricata</b>	16.819	[MWh]	



**Figura 33. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).**



**Figura 34. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.**

6.3.4 Tesla S60. Ricarica al Lavoro più soste generiche

Tabella 15. Scheda Tesla S60. Ricarica solo a casa.

Caratteristiche veicolo			
Modello	Tes60S		
Batteria	60,0	[ kWh]	
Consumo	188	[ Wh/km]	
Autonomia	255	[km]	
Risultati ricarica			
		Potenza	Energia Caricata
		[kW]	[%]
Casa	-	-	0,0
Lavoro	Si	6,6	56,6
Altre Soste	Si	03	34,4
Viaggio	Si	50	9,0
Dati del Campione			
N.Veicoli Campione	6.109	[N°]	
Percorrenza annua	13.912	[km]	
Energia caricata	16.819	[MWh]	

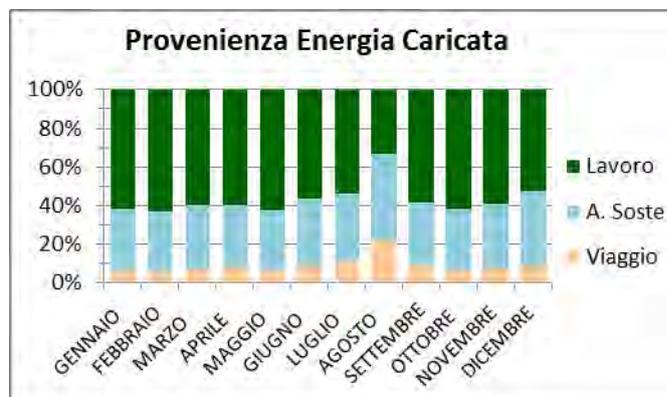
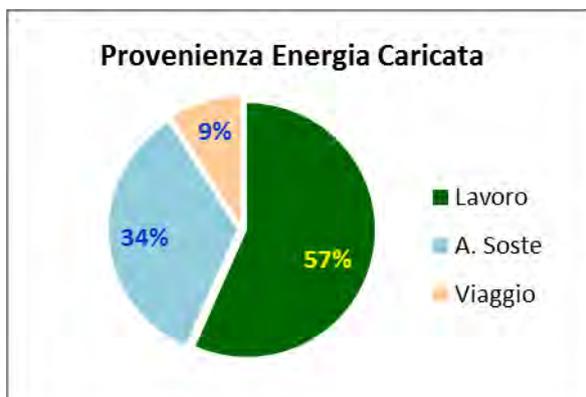


Figura 35. Energia ricaricata distribuita per i luoghi di ricarica: in sosta (casa, lavoro, altre soste) e in viaggio. Suddivisione annuale (a sinistra) e mensile (a destra).

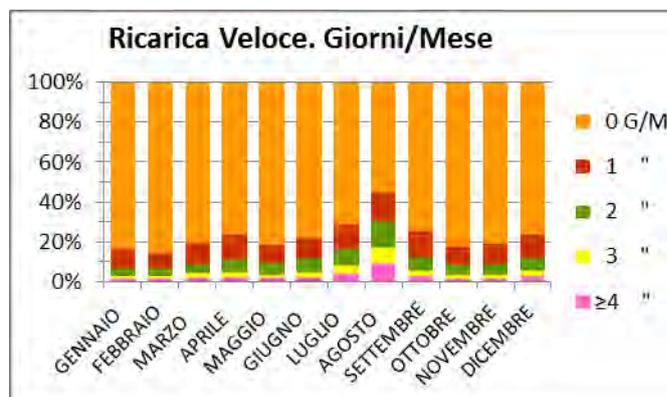
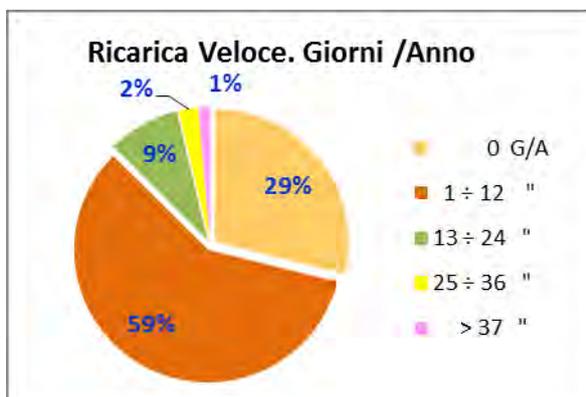


Figura 36. Frequenza annuale (a sinistra) e mensile (a destra) delle ricariche veloci fatte durante il viaggio.