



Ricerca di Sistema elettrico

Strumenti metodologici per la dislocazione ottimale ed il dimensionamento energetico delle stazioni di ricarica elettrica in ambito urbano

N. Andrenacci, V. Fabrizi, R. Ragona, G. Valenti

STRUMENTI METODOLOGICI PER LA DISLOCAZIONE OTTIMALE ED IL DIMENSIONAMENTO ENERGETICO DELLE STAZIONI DI RICARICA ELETTRICA IN AMBITO URBANO

N. Andrenacci, V. Fabrizi, R. Ragona, G. Valenti (ENEA)

Settembre 2015

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: b.1 La distribuzione delle infrastrutture per l'elettromobilità

Responsabile del Progetto: A. Genovese, ENEA

Gli autori ringraziano l'ing. F. Orteni (ENEA) per la solerte e completa collaborazione da lui prestata nell'applicazione del modello di simulazione del veicolo elettrico

Indice

| | |
|---|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 LA MOBILITÀ ELETTRICA..... | 5 |
| 2.1 SCENARI DI DIFFUSIONE DELLA MOBILITÀ ELETTRICA | 5 |
| 2.2 LA RICARICA ELETTRICA NEL CONTESTO URBANO E PROSPETTIVE DI SVILUPPO IN ITALIA..... | 9 |
| 2.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI FONDAMENTALI: COLLOCAZIONE OTTIMALE ED IMPEGNO ENERGETICO DELLE STAZIONI DI RICARICA IN AMBITO URBANO..... | 10 |
| 3 I DATI OCTOTELEMATICS..... | 11 |
| 3.1 CONFERIMENTO DEI DATI E SIGNIFICATIVITÀ DEL CAMPIONE..... | 11 |
| 3.2 STRUTTURA DEL DATABASE | 13 |
| 3.3 MAP-MATCHING PER LA RICOSTRUZIONE DELLE TRAIETTORIE DI VIAGGIO..... | 16 |
| 4 ANALISI DEI DATI E RISULTATI..... | 18 |
| 4.1 LA CLUSTER ANALYSIS PER LA DETERMINAZIONE DELLE COLLOCAZIONI OTTIMALI DELLE STAZIONI DI RICARICA | 18 |
| 4.2 RICOSTRUZIONE DEI PROFILI DI VELOCITÀ PER L'ASSEGNAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO | 22 |
| 4.3 LA MAPPA DEI CONSUMI PER LA NISSAN LEAF | 25 |
| 4.4 LA MAPPA DEI CONSUMI PER LA MITSUBISHI I-MIEV | 26 |
| 4.5 CALCOLO DEL CONSUMO ENERGETICO ED ASSEGNAZIONE DELL'IMPEGNO ENERGETICO A CIASCUNA STAZIONE..... | 27 |
| 5 CONCLUSIONI..... | 29 |
| 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 31 |

Sommario

Il presente studio, inquadrato nell'accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdSE), si propone di sviluppare nuovi strumenti per aumentare l'efficienza e l'affidabilità dei processi decisionali relativi alla pianificazione delle infrastrutture e alla gestione del trasporto urbano. In particolare, lo studio si è concentrato sul problema delle infrastrutture di ricarica per le auto elettriche, cercando di definire delle soluzioni accettabili relativamente a due problemi insiti nello sviluppo delle stesse: la collocazione ottimale delle stazioni di ricarica sul territorio (specie quello urbano) ed il dimensionamento energetico da assegnare a ciascuna di esse, calcolati in base all'utenza prevedibile.

Nel presente studio è stato adottato un approccio alla questione di tipo demand-side, ovvero le soluzioni che verranno proposte partono dall'analisi delle esigenze di una potenziale utenza di auto elettriche, ipotizzabile su un determinato contesto urbano.

A questo scopo, sono stati acquisiti e analizzati una grande quantità di dati sul traffico reale della zona interna al Grande Raccordo Anulare di Roma. I dati riguardanti gli spostamenti compiuti dai veicoli sono stati rilevati via GPS e si riferiscono al database OctoTelematics, di cui si parlerà in dettaglio; essi contengono informazioni quali posizione, velocità, tempo, distanza percorsa e coprono circa il 6% del parco vetture circolante all'epoca del rilevamento, ovvero una quantità ritenuta statisticamente significativa dal punto di vista dell'affidabilità dei risultati.

La metodologia proposta in questo studio ha portato all'individuazione delle potenziali infrastrutture di ricarica nell'ambito della città di Roma, ognuna caratterizzata da un bacino di utenza distribuito su una porzione del territorio e da una taglia energetica media giornaliera.

Sebbene la pianificazione delle infrastrutture di ricarica debba necessariamente tener conto di una serie di vincoli (quali l'interazione di tale infrastruttura con il sistema elettrico territoriale, l'effettiva conformazione del territorio, le politiche nazionali e comunitarie in materia di energia elettrica, ecc.), il presente studio vuole offrire una metodologia di primo livello di analisi che permetta di gestire la domanda dei potenziali utenti di vetture elettriche.

1 Introduzione

La diffusione del veicolo elettrico nelle sue varie declinazioni tecnologiche costituirà nel prossimo futuro una delle misure chiavi per il contenimento dell'inquinamento atmosferico, specie nelle aree urbane.

D'altra parte la sua tecnologia ormai mostra un profilo maturo, specie nella componente "batteria di trazione", che finora aveva presentato dei limiti importanti alla sua diffusione, in termini di costi, affidabilità ed autonomia garantita.

Alcuni studi consolidati affermano a chiare lettere che la velocità di diffusione di questa nuova tecnologia dipende da fattori fondamentali quali la presenza di incentivi pubblici e la competitività del veicolo elettrico in termini di utilizzo rispetto al veicolo termico.

Alcune recenti delibere della Commissione Europea stabiliscono che un elemento importante per la mobilità elettrica è la disponibilità di una opportuna infrastruttura di ricarica elettrica sul territorio, e propongono direttive per la loro diffusione in tutti gli ambiti nazionali.

In Italia il Piano Nazionale Infrastrutturale si propone di identificare una rete di ricarica che garantisca la circolazione dei veicoli elettrici (o ibridi) senza soluzione di continuità dalle aree comunali, alle aree metropolitane fino agli ambiti regionali ed extraregionali.

Nell'ambito dell'accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdSE), ENEA vuole cercare di definire delle soluzioni accettabili relativamente a due problemi insiti nello sviluppo di una infrastruttura elettrica di ricarica: la collocazione ottimale delle stazioni di ricarica sul territorio (specie quello urbano) e la dotazione energetica da assegnare a ciascuna di esse, calcolata in base all'utenza prevedibile.

L'approccio seguito nel proporre una soluzione a questi due problemi è di tipo demand-side, cioè le soluzioni verranno proposte a partire da uno studio approfondito delle esigenze di un'utenza ipotizzabile su un determinato contesto urbano, a seguito del passaggio di questa utenza dal veicolo termico a quello elettrico secondo determinate percentuali.

2 La mobilità elettrica

2.1 *Scenari di diffusione della mobilità elettrica*

Dopo anni in cui il tradizionale motore a combustione interna (ICE) ha dominato la scena della tecnologia dell'automobile, l'industria automobilistica ha cominciato effettivamente a diversificare la produzione. Una prima mossa è stato lo sviluppo della vettura ibrida convenzionale (HEV) che ha guadagnato fette di mercato di una certa significatività nelle ultime due decadi. Ad esempio, la Toyota ha venduto più di 6 milioni di modelli Prius, il 10% dei quali in Europa. Al momento attuale, ci sono segnali di sviluppo delle vendite di vetture completamente elettriche (PEV), anche se le vendite attuali in Europa di veicoli elettrici ricaricabili, con esclusione delle ibride convenzionali, permangono ancora a livelli bassi: circa l'1% del totale venduto. Tuttavia ci sono ragioni per credere che stiamo entrando in una fase più marcata di adozione del veicolo PEV. Le vendite globali ad esempio della Nissan Leaf hanno raggiunto la quota di 100.000 unità, mentre la Tesla modello S si è attestata a 25.000 unità vendute.

D'altra parte la Commissione Europea ha lanciato iniziative di supporto per la mobilità elettrica proponendo direttive per la diffusione di infrastrutture per la ricarica con energia elettrica o con combustibili alternativi (Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 ottobre 2014).

In misura diversa i governi nazionali in Europa hanno cercato di stimolare la mobilità elettrica attraverso varie misure, sia per ridurre le emissioni (specie di CO₂ e di NO_x), che come incoraggiamento allo sviluppo tecnologico di frontiera.

Alcune nazioni europee, ad esempio, hanno lanciato significative campagne incentivanti l'acquisto di veicoli elettrici. La Norvegia nel corso del 2013 ha registrato una quota di PEV del 6.2% sul totale venduto, l'Olanda

il 4% nel corso dello stesso anno, mentre Francia, Germania e UK hanno mostrato trend di crescita nelle vendite PEV del 50% [1].

Una tecnologia di compromesso tra PEV e HEV è il veicolo PHEV, che è un veicolo ibrido con batterie elettriche ricaricabili; esso elimina il problema dell’ansia da autonomia, perché la presenza del motore a combustione garantisce la ricarica delle batterie in dotazione al veicolo, anche se le stesse possono essere ricaricate tramite collegamento a rete elettrica. Questa tecnologia praticamente si spartisce il mercato della mobilità elettrica con quella PEV, e noi considereremo il PHEV a tutti gli effetti come un veicolo necessario di ricarica, e quindi afferente anche lui alla rete di ricarica elettrica (domestica, aziendale, pubblica).

In qualche nazione europea il mercato PHEV ha sopravanzato di molto quello PEV (ad esempio in Olanda nel 2013 sono state acquistati circa 19.000 veicoli PHEV e circa 3.000 PEV, per un totale di circa il 30% del venduto), mentre in altre nazioni si è registrato un segno diametralmente opposto (ad esempio in Francia nel 2014 ha convinto molto la PEV Renault Zoe).

In ogni caso nei primi 4 mesi del 2015 il mercato elettrico europeo (PEV + PHEV) ha sopravanzato quello USA (si veda Tabella 1 e Figura 1), anche se si stima che nel corso dell’anno ci sarà un recupero USA [2].

Molti ritengono che lo sviluppo della mobilità elettrica sia influenzato da elementi quali l’incremento di domanda da parte dell’acquirente, lo sviluppo contemporaneo dell’offerta industriale, l’offerta di incentivi dei governi nazionali, la disponibilità sul territorio di strutture di ricarica energetica tale da rendere competitiva l’autonomia del veicolo elettrico.

Tabella 1: Mercato elettrico gennaio – aprile 2015 (totale venduto UE stesso periodo: 4.9 milioni di autovetture)

| Vendite elettriche | auto | EU | USA |
|--------------------|------|---------------|---------------|
| PHEV | | 24.578 | 10.684 |
| PEV | | 26.808 | 21.403 |
| Totale | | 51.386 | 32.087 |

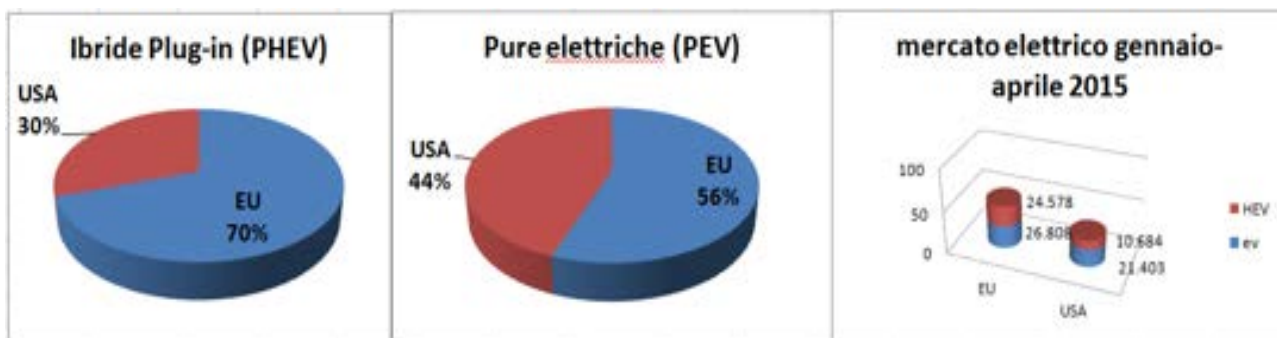


Figura 1 - Dettaglio della Tab. 1

La domanda dell’acquirente di veicolo elettrico elettrico normalmente proviene da due sottogruppi sociali distinti: quello attento alle problematiche ambientali ed aperto alle nuove tecnologie, e quello attento ai costi, quindi molto sensibile ai costi generali della mobilità.

D’altra parte l’offerta dei costruttori di veicoli si sta sempre di più allargando, e nel 2014 ha compreso circa 60 nuovi modelli disponibili per l’utenza elettrica (comprendendo anche gli ibridi HEV) [1].

Di pari passo con il consolidamento del mercato elettrico, la tecnologia e le infrastrutture per la ricarica elettrica si stanno ugualmente sviluppando e diffondendo. I costi per una diffusione su larga scala delle stazioni di ricarica sono troppo elevati per poter essere sopportati solo dal settore pubblico, per cui una sfida importante è quella di configurare uno scenario commerciale convincente ad attrarre anche il settore privato in questo nuovo business.

Tre soluzioni tecnologiche di ricarica elettrica sono state finora proposte [1].

Il *cambio del pacco batteria* (battery swapping) è stato realizzato su piccola scala, ma ormai è abbastanza desueto. Solo la Tesla lo propone per il suo modello S e solo per gli USA.

Il *metodo induttivo* (wireless charging) è operativo in poche situazioni pilota, ed agisce tramite un accoppiamento magnetico tra un dispositivo posto a bordo macchina e l'altro posto sull'asfalto.

La *ricarica con filo* (wired charging) è decisamente il metodo più seguito, e nel 2013 in Europa sono stati resi operativi circa 20.000 punti di ricarica, principalmente in area urbana (di questi circa 1.000 sono relativi alla ricarica veloce).

In termini di diffusione di stazioni di ricarica pubbliche, Danimarca, Olanda, Germania UK e Francia sono le nazioni con maggiori presenze sul rispettivo territorio. La diffusione maggioritaria delle stazioni a ricarica lenta limita però la possibilità di viaggi lunghi, per cui alcune nazioni hanno realizzato stazioni a ricarica rapida specie sulle autostrade.

L'Estonia ad esempio, nell'ambito di un progetto nazionale concordato con Mitsubishi, ha realizzato la disponibilità di 165 punti di ricarica rapida diffusi sul territorio nazionale (si veda

Figura 2), con una distanza massima tra punto e punto di 60 km [3].

Esiste al momento anche un ulteriore problema nell'accesso alla ricarica elettrica: l'assenza di uno stesso standard di ricarica internazionale ed unanimemente accettato. Intendiamo con questo non solo la tipologia di connettore ma ci riferiamo anche ai livelli elettrici ed ai metodi di comunicazione tra stazione di ricarica e veicolo.

Questa frammentazione negli standard crea una ulteriore difficoltà all'utente su strada, specie all'utente che vuole utilizzare il suo veicolo elettrico su tragitti extraurbani qualsiasi.



Figura 2 - La rete di ricarica rapida dell'Estonia

Al momento la ricarica lenta in Europa è associata allo standard “Type 2” (Mennekes), mentre la ricarica veloce è diffusa su tre standard: CHAdeMO CC (corrente continua) 50 kW, CCS (Combo) CC (corrente continua) 50 kW ed AC (corrente alternata) 43 kW. Una direttiva europea ha proposto un periodo di transizione multistandard fino al 2019, quando si dovrà assumere solo lo standard europeo CCS (Combo). Quindi le varie stazioni di ricarica veloce sono al momento attuale predisposte ad erogare energia elettrica su questi 3 standard, aumentando la confusione ed i costi.

Inoltre le stazioni sono spesso associate a reti proprietarie di gestione con sistemi particolari di accesso e pagamento. Questo crea difficoltà nelle operazioni di identificazione dell’utente, di accesso al servizio e di fatturazione. Ci sono stati sforzi per promuovere l’interoperabilità e per permettere agli utenti un accesso libero a tutte le stazioni di ricarica. In Olanda ad esempio ciò è avvenuto tramite accordi fra i diversi operatori privati che offrono servizi di ricarica elettrica su strada, arrivando tramite protocolli e software open-source a permettere accessi garantiti a tutti gli utenti nazionali.

I regolamenti EU vorrebbero promuovere una sorta di “scelta libera al punto di ricarica”, così come viene praticata nelle reti di telecomunicazione (roaming).

A livello italiano, la mobilità si concentra nelle aree urbane e l’auto rimane il mezzo privilegiato per muoversi anche per percorrere pochi chilometri: uno studio sulla provincia di Modena [4] ha rilevato che circa l’80% dei viaggi analizzati potrebbero essere fatti con auto elettriche e che una porzione della flotta auto compresa fra il 10% e il 25% potrebbe essere sostituita da auto elettriche. Secondo gli studi del Censis, dal 2001 al 2011 la centralità dell’auto in Italia come mezzo di mobilità è cresciuta dal 59% al 61%. Ben il 66 % degli italiani la usa almeno una volta al giorno in Italia, superiore alla media di UE 28 che è di circa il 50%. Si stima inoltre che il numero di veicoli in circolazione nel mondo arriverà a quota 2,5 miliardi nel 2050. Proiettando a quella data l’incidenza del riscaldamento globale e delle emissioni sulla salute del pianeta e degli uomini e del costo del petrolio sui bilanci delle Nazioni e crescita della popolazione mondiale nelle grandi agglomerati urbani, è necessario pensare a forme di mobilità alternativa più sostenibile.

Sebbene la vendita delle auto elettriche in Italia difficilmente possa rispettare le previsioni fatte nel 2009 da importanti società di studi di settore, che ipotizzavano nel 2020 un minimo di 900.000 auto circolanti, l’incremento annuale è raddoppiato negli anni dal 2010 al 2012 e aumentato del 50% dal 2012 al 2013 arrivando a 1720 auto circolanti in Italia alla fine del 2013 [5].

I dati del primo trimestre del 2015 pubblicati da UNRAE (si veda Tabella 2) mostrano che le vendite di auto elettriche da gennaio a giugno 2015 sono aumentate di quasi il 67% rispetto allo stesso periodo dello scorso anno, mentre per le ibride l’aumento è stato di circa il 16%. Tuttavia, le auto elettriche rappresentano ancora solo lo 0,1% delle quote di vendite, mentre le ibride si attestano sullo 1,5%.

Tabella 2: Elaborazioni UNRAE su dati al 30/06/2015 per le immatricolazioni auto in Italia

| Immatricolazioni | Gennaio/giugno | | Var. % | Quote % | |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|--------------|--------------|
| | 2015 | 2014 | | Gen-giu 2015 | Gen-giu 2014 |
| Diesel | 486.924 | 425.694 | 14,4 | 55,6 | 55,9 |
| Benzina | 267.963 | 226.131 | 18,5 | 30,6 | 29,7 |
| Gpl | 71.842 | 63.408 | 13,3 | 8,2 | 8,3 |
| Metano | 35.195 | 34.217 | 2,9 | 4,0 | 4,5 |
| Ibride | 13.404 | 11.521 | 16,3 | 1,5 | 1,5 |
| Elettriche | 936 | 561 | 66,8 | 0,1 | 0,1 |
| totale | 876.264 | 761.532 | 15,1 | 100 | 100 |

Uno dei maggiori ostacoli alla diffusione delle auto elettriche sembra essere unanimemente riconosciuta nella mancanza sul territorio di una rete di strutture di ricarica adeguata (sia di tipo standard in corrente alternata sia di tipo veloce in corrente continua) , a causa dell'ansia da autonomia. Tale sensazione non pare peraltro strettamente legata ai chilometri da percorrere ma piuttosto all'abitudine acquisita con i veicoli tradizionali a poter fare rifornimento di carburante, senza problemi, all'occorrenza [6].

ANIE Energia ha recentemente effettuato una indagine tra le aziende associate attive nel settore della mobilità elettrica in Italia allo scopo di valutare scenari previsionali di mercato per le infrastrutture di ricarica. Secondo i dati raccolti, dopo un 2014 caratterizzato da un andamento di segno negativo o invariato, si intravedono per il 2015 spiragli di fiducia che portano il 37% delle aziende a credere in una crescita del fatturato interno, rispetto al 2013, tra il 5 e il 20%, fino ad arrivare ai più ottimisti (il 5% delle imprese intervistate) che stimano un incremento addirittura superiore.

La necessità di maggiori infrastrutture, in alcuni casi non è stata vista come un problema, ma piuttosto come un'opportunità. Negli Stati Uniti stanno nascendo modelli di business con realtà che non sono strettamente legate alla sfera dell'elettrico, come la catena di farmacie Walgreens, che oggi ospita stazioni di ricarica in tutto il paese.

2.2 La ricarica elettrica nel contesto urbano e prospettive di sviluppo in Italia

Esiste un grande potenziale di sviluppo della mobilità elettrica specialmente nelle aree urbane congestionate. Questo potenziale è confermato dalle proiezioni demografiche del 2050, che prevedono una concentrazione della popolazione umana attorno al 70% nelle aree cittadine. Diviene chiara quindi la necessità di ridisegnare una nuova organizzazione all'interno delle aree urbane specie nei confronti della mobilità, che già adesso crea problemi ambientali, sanitari, sociali ecc..

I miglioramenti nella qualità della vita offerti dalla mobilità elettrica sono facilmente immaginabili. Attraverso la realizzazione di sistemi di trasporto intermodale ed un uso massivo di mobilità elettrica, non solo ci sarebbe una riduzione delle emissioni gassose, di particolato e di rumore ambientale, ma anche una diminuzione dei volumi di traffico ed uno stimolo accresciuto per la produzione di energia rinnovabile: la mobilità elettrica può diventare una componente importante di uno sviluppo urbano sostenibile, e la sua introduzione su larga scala genererebbe molti benefici. Inoltre, come detto, le batterie elettriche di bordo potrebbero creare una capacità di immagazzinamento supplementare e diffuso per la rete elettrica, rinforzando così l'integrazione delle energie rinnovabili nelle reti di distribuzione dell'energia elettrica.

La creazione di una struttura di ricarica elettrica affidabile e sufficientemente presente nel contesto cittadino risulta vitale alla diffusione massiva della mobilità elettrica, sia nei suoi aspetti fisici che di ICT, onde realizzare un'interfaccia efficiente verso la rete elettrica ed amichevole verso l'utenza (con servizio diffuso sul territorio, di facile accesso per l'utente, con fatturazione chiara dei servizi, ecc..).

I limiti attuali di autonomia del veicolo puramente elettrico PEV inoltre ben si sposano al suo utilizzo nel contesto urbano: esiste infatti una forte presenza di utenza a bassa percorrenza giornaliera (tragitto casa-lavoro, tipicamente entro i 10 – 20 km giornalieri) che potrebbe convertirsi alla mobilità elettrica qualora ricorrano alcune condizioni importanti:

- disponibilità di punti di ricarica diversi dalla ricarica a domicilio – impraticabile per molti - allocati su suolo privato e pubblico (parcheggi pubblici ed aziendali, supermercati, stazioni ferroviarie, stazioni di servizio tradizionali convertite anche all'elettrico, ecc.), con possibilità di ricarica lenta e veloce;
- disponibilità di sistemi di ricarica multistandard ed aperti a diversi fornitori;
- azioni di incoraggiamento degli enti locali (parcheggio gratuito, esenzione da sistemi di road pricing, utilizzo di corsie riservate);
- azioni di incoraggiamento degli enti regionali (etichettatura ecologica);
- azioni di incoraggiamento dello Stato (incentivi economici, esenzioni fiscali) [14].

In Italia, il Ministero dell'Infrastruttura e dei Trasporti ha proposto nel 2013 un piano nazionale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica. Il piano prevede una road-map fino al 2015 per promuovere interventi inizialmente su aree urbane ad alta congestione di traffico.

La prima iniziativa a riguardo è stato lo stanziamento di 5 milioni di Euro per il finanziamento del "Piano infrastrutturale nazionale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica" da parte del Ministero stesso.

Dal 2014 il Piano prevede appositi accordi di programma al fine di concentrare interventi in singoli contesti territoriali in funzione delle effettive esigenze, promuovendo e valorizzando la partecipazione di soggetti pubblici e privati.

Il Piano prevede la realizzazione di punti di ricarica, secondo i seguenti passi intermedi:

- OBIETTIVO 2016: 90.000 punti di ricarica accessibili al pubblico
- OBIETTIVO 2018: 110.000 punti di ricarica accessibili al pubblico
- OBIETTIVO 2020: 130.000 punti di ricarica accessibili al pubblico

Nel Piano si raccomanda che, per venire incontro alle esigenze di ricarica delle auto elettriche e dei cittadini, le autorità pubbliche adottino disposizioni regolamentari per garantire che i progettisti e i gestori mettano a disposizione l'infrastruttura adeguata con un numero sufficiente di punti di ricarica per veicoli elettrici.

Nel predisporre l'infrastruttura per i veicoli elettrici è necessario tenere conto dell'interazione di tale infrastruttura con il sistema elettrico come pure della politica dell'Unione in materia di energia elettrica. È necessario che la creazione e il funzionamento dei punti di ricarica dei veicoli elettrici siano realizzati con le modalità di un mercato concorrenziale con accesso aperto a tutte le parti interessate alla creazione o alla gestione di infrastrutture di ricarica.

2.3 Determinazione dei parametri fondamentali: collocazione ottimale ed impegno energetico delle stazioni di ricarica in ambito urbano

Ai fini delle mobilità in ambito urbano, le stazioni di ricarica devono rispondere a diversi requisiti: devono essere in luoghi logisticamente significativi ma devono anche essere allacciate a un nodo della rete di distribuzione adeguato a soddisfare le richieste di potenza, oppure, in alternativa, avere a disposizione degli adeguati sistemi di accumulo locali. In ambito extraurbano in genere si assume un criterio di distanza (la distanza massima tra due stazioni di ricarica deve essere contenuta entro limiti prefissati).

Quindi, sono due le richieste fondamentali per una pianificazione razionale in ambito urbano:

a) determinazione della dislocazione ottimale delle stazioni di ricarica;

b) determinazione per ciascuna stazione della sua "taglia" o impegno energetico.

Il problema di come affrontare la mancanza di infrastrutture di ricarica è discusso molto nella letteratura scientifica, dove spesso viene rilevata la presenza di errori strategici nella pianificazione delle infrastrutture. I diversi approcci suggeriti in letteratura tengono conto sia dei modelli di business che delle esigenze dei consumatori [7] [8] e pongono in evidenza il ruolo fondamentale delle politiche pubbliche, anche a livello locale, per la diffusione delle auto elettriche [9] [10].

Il presente lavoro si inquadra nella prospettiva che studia le esigenze dei consumatori (approccio demand-side) nello sviluppo dell'infrastruttura di ricarica; l'opinione degli autori è che tale approccio rappresenti un punto metodologico necessario, che però vada integrato con modelli di business che garantiscano gli opportuni ritorni economici agli operatori privati che devono necessariamente essere coinvolti in una impresa difficilmente sostenibile dal solo intervento pubblico.

I dati su cui si svolgerà il lavoro si riferiscono ai dati disponibili di registrazione forniti ad ENEA dalla società OctoTelematics relativi alla provincia di Roma; tali dati contengono le tracce GPS lasciate dai veicoli

provvisi a bordo del dispositivo elettronico OctoTelematics e riferite alla rete di trasporto provinciale ed urbana.

Da tali dati, presenti in numero imponente, verranno estratti campioni significativi riferiti a qualche settimana di calendario.

Si vuole determinare sull'area urbana un insieme campionario di spostamenti veicolari sistematici (casa-lavoro, oppure casa-punto di attrazione urbano), definito nelle sue grandezze trasportistiche fondamentali (origine, destinazione, percorso, consumo energetico, velocità d'arco).

Il presente lavoro necessita preliminarmente di determinare *il percorso* di ciascun utente, inteso come sequenza di strade cittadine effettivamente transitate, a partire dalle tracce GPS che nel caso OctoTelematics vengono registrate ogni 2 km, oppure con appropriati intervalli temporali; quindi opportune risorse di map-matching saranno prese in considerazione per l'associazione "tracce GPS \leftrightarrow rete stradale".

In altre parole verranno individuati degli spostamenti sistematici in numero tale da creare una statistica sufficiente (diverse decine di migliaia), dettagliati nelle loro grandezze trasportistiche fondamentali.

Si introdurrà pure l'ipotesi di percorrere ciascuno spostamento con due diversi veicoli elettrici del mercato attuale: una Nissan Leaf (per gli spostamenti più lunghi) ed una Mitsubishi i-Miev (per quelli più corti).

Con opportuni metodi di calcolo che implicano l'uso di mappe veicolari di consumo e di un simulatore veicolare, verranno calcolati i consumi energetici relativi a ciascuno spostamento, di cui si conoscono dunque: sequenza di archi percorsi, velocità su ciascun arco, veicolo elettrico impiegato (di fascia alta o di fascia bassa) e consumo.

Il campione di spostamenti sistematici così determinato serve come base per una ipotesi di sostituzione dei veicoli a combustione interna in veicoli elettrici, sostituzione tale da soddisfare la stessa domanda di spostamento.

L'insieme dei consumi energetici così valutati concorre a formare una *mappatura energetica* urbana campionaria degli spostamenti effettuati con la supposta trazione elettrica.

Da questa mappatura energetica si vuole arrivare ad una metodologia di *distribuzione ottimale* sul territorio di stazioni di ricarica elettrica durante gli orari di sosta delle vetture.

Per ottenere questo secondo risultato, si procederà ancora una volta dalla conoscenza dettagliata degli spostamenti: infatti il punto di arrivo di ciascuno spostamento coincide con il punto di parcheggio in cui collocare eventualmente le stazioni di ricarica elettrica.

Lo studio della distribuzione sull'area cittadina di questi punti di arrivo fornisce sicuramente un suggerimento molto utile per la determinazione della collocazione delle stazioni.

Una tecnica statistica denominata Cluster Analysis verrà impiegata allo scopo, per identificare nel miglior modo possibile sul territorio gruppi omogenei e "vicini" di utenti che hanno esigenze di ricarica elettrica completa e/o di biberonage. Di ciascun gruppo si conoscono il numero di utenti che vi afferiscono con i rispettivi consumi energetici, per cui sarà facile una valutazione dell'impegno energetico totale di gruppo; a ciascun gruppo può corrispondere una o più stazioni di ricarica, che vengono dunque definite nelle loro coordinate spaziali ed energetiche.

Lo scopo finale del lavoro è quello di andare incontro alle esigenze dell'eventuale utenza di vetture elettriche, in maniera da assicurare su base calcolata il rispetto del vincolo di autonomia dello spostamento mediante una dislocazione ben valutata delle stazioni di ricarica sul territorio urbano.

3 I dati OctoTelematics

3.1 Conferimento dei dati e significatività del campione

Il monitoraggio del traffico, requisito essenziale per tutti gli studi prestazionali, ha subito negli ultimi anni una trasformazione epocale. Fino agli anni 80 del secolo scorso la base per ogni rilevazione del traffico era essenzialmente cartacea ed affidata ai questionari compilati su base volontaria da un campione di utenti della strada o inseriti nelle pagine delle richieste statistiche ufficiali (ad esempio quelle ISTAT).

Si è passati poi agli impianti di misura fissi su strada, di varia impostazione tecnologica (essenzialmente spire induttive), che però presentano delle limitazioni in termini di copertura spaziale e di costo di installazione e manutenzione.

In questi ultimi anni, gli sviluppi ICT per applicazioni di vario tipo (telefoniche, assicurative, di social network, ecc. tramite ad esempio smart-phone, tablet ed unità di bordo dedicate) hanno dato vita ad imponenti raccolte di dati georeferenziati (tramite ad esempio GPS) e diffusi sul territorio che, pur non avendo in molti casi uno specifico intento di raccolta dati per il traffico, nondimeno trasportano un'informazione che con opportuni procedimenti di estrazione fornisce un monitoraggio continuo e spesso in tempo reale sulla rete stradale: si parla in questo caso di Big Data della mobilità.

I vantaggi di queste imponenti raccolte dati sono immaginabili:

- Sistematicità, economicità e completezza dei dati;
- Migliore comprensione di comportamenti e abitudini dei viaggiatori;
- Modelli di interpretazione più aderenti alla realtà;
- Aumentata conoscenza delle prestazioni del trasporto urbano.

Di recente hanno fatto la loro comparsa sulla scena i veicoli-sonda, che agiscono come sensori mobili e non richiedono alcun supporto strumentale dalla rete stradale per produrre le loro misure di traffico.

I Floating Car Data (FCD) derivano da questa categoria tecnologica ed in genere i loro prodotti informativi sono riferibili alle posizioni GPS consecutive del veicolo-sonda attrezzato ed alle sue corrispondenti velocità, quando il veicolo stesso viene mantenuto appositamente in movimento su una rete stradale.

Il veicolo-sonda manda i dati di traffico più recenti continuamente o con periodicità ad un sistema centrale di raccolta dati, che colleziona tutte le provenienze dai vari veicoli della flotta FCD e mette i dati a disposizione degli analisti di traffico.

Esiste un sistema FCD italiano, sviluppato dalla società OctoTelematics per applicazioni di tipo assicurativo, che interessa più di 1.500.000 veicoli privati (più di 3.000.000 nel mondo) attrezzati con un sistema installato a bordo che integra le seguenti componenti: un ricevitore GPS, un sistema GSM/GPRS di trasmissione dati ad una centrale, un sensore triassiale accelerometrico, una RAM ed un processore.

Il sistema di bordo invia alla centrale di terra ogni 2 chilometri oppure ogni 30 secondi (in dipendenza del tipo di strada percorsa dal veicolo) le informazioni più recenti, fondamentalmente posizione, tempo, velocità e distanza percorsa.

ENEA possiede due raccolte di dati OctoTelematics, riferibili al mese di maggio 2011 ed al mese di maggio 2013; quest'ultimo è stato acquistato con fondi provenienti dalle attività afferenti alla RdSE.

Da questi due database verrà estratta una settimana campione, dal 6 all'11 maggio 2013, su cui verrà messa a punto la metodologia che interessa; il campione può essere considerato significativo (più avanti verrà dichiarata la sua consistenza numerica), anche se sarebbe risultato statisticamente più soddisfacente uno studio con altre settimane relative a periodi diversi dell'anno, per avere una descrizione più completa della situazione e tenere in conto gli effetti stagionali.

Il campione OctoTelematics è accreditato per circa il 6% del parco circolante nell'area romana che è oggetto del nostro studio.

Da questo campione noi deriveremo le tendenze e le abitudini di nostro interesse degli utenti romani della strada, estrapolandole dunque da questa percentuale di rappresentatività (il 6% può sembrare una percentuale piccola, ma i valori assoluti in termini di numero di viaggi sono, come vedremo, di tutto rispetto).

Un aspetto importante da tenere presente è il fattore di scala: poiché supponiamo anche che l'eventuale utenza di veicolo elettrico in area romana (attualmente molto bassa) sia rappresentata da questo campione OctoTelematics, dovremo opportunamente riscalare i risultati ottenuti per questo 6% del parco veicolare rispetto alla percentuale ipotizzabile di utenza elettrica.

Se ad esempio ipotizziamo che l'utenza elettrica da qui a qualche anno arrivi all'1% del circolante, i risultati numerici *assoluti* della nostra analisi basata su un campione del 6% andranno ridotti di conseguenza.

3.2 Struttura del database

I dati acquistati dalla compagnia OctoTelematics rappresentano una raccolta di dati sugli spostamenti compiuti dai veicoli quali: posizione, velocità, tempo, distanza percorsa. Il set di dati disponibili riguarda la città metropolitana di Roma e la sua provincia per il mese di Maggio 2011 e Maggio 2013.

I dati conferiti rappresentano circa 6% del parco vetture circolante in area romana all'epoca del rilevamento.

Il database contiene i dati dei viaggi di una numerosa flotta di veicoli privati, acquisiti da un dispositivo GPS connesso via GSM ad un'unità di storage remota. Dai dati è stato possibile determinare il numero di viaggi effettuati nel periodo di osservazione, le distanze coperte, la distribuzione geografica dei punti di arrivo.

Nella Tabella 3 sono riportati alcune cifre rappresentative per il database.

In Figura 3 viene presentato il dettaglio di un estratto del database, relativo ad un guidatore codificato col numero 330, che percorre in una certa data (colonna timedate) un viaggio/tragitto/traiettoria (i tre termini vengono utilizzati in maniera interscambiabile nel presente lavoro) con coordinate geografiche (colonne latitudine e longitudine espresse tramite numeri interi) fornite dal sistema GPS assieme alla misura di velocità (colonna speed espressa in km/h) presa all'incirca ogni due chilometri (colonna distance espressa in metri). Si possono notare i momenti iniziali di accensione (prima riga, velocità zero) e di spegnimento (penultima riga, velocità zero con percorso di 709 metri rispetto alla rilevazione precedente); l'ultima riga rappresenta l'inizio del viaggio successivo.

Tabella 3: I dati OctoTelematics in breve

| | Maggio 2011 | Maggio 2013 |
|---|--------------------|--------------------|
| Tracce | 101.123.358 | 153.085.734 |
| Veicoli | 119.515 | 150.633 |
| Percorrenze mensili medie (Km/veicolo) | 835 | 777 |
| Tragitti | 11.462.053 | 14.220.671 |

La manipolazione dei dati acquisiti nei nostri sistemi di calcolo è stata effettuata con PostgreSQL, un sistema di gestione del database ad oggetti, rilasciato con licenza libera, che implementa la maggior parte degli standard SQL 2011.

La finalità dell'utilizzo dei dati è quella di analizzare i viaggi casa-lavoro e gli spostamenti verso punti di attrazione, in modo da poter individuare i parametri di distribuzione geografica e dimensionamento di potenza e di frequenza per le infrastrutture di ricarica.

A questo scopo, dal database è stato estratto un set di dati, considerato rappresentativo per la finalità del lavoro.

L'estrazione è stata effettuata applicando i seguenti criteri:

- Per disporre di un campione significativo, è stato estratto un set di dati che copre il periodo dal 06/05/2013 all'11/05/2013 (6 giorni lavorativi). I giorni sono stati selezionati in modo da essere rappresentativi di una situazione tipica, quindi sono lontani da festività e non comprendono eventi eccezionali.
- Volendo analizzare gli spostamenti casa-lavoro, sono stati presi in considerazione i viaggi effettuati nella fascia oraria mattutina 7-10.

- Ai fini del dimensionamento delle infrastrutture di ricarica, sono stati selezionati solo i viaggi con percorrenza superiore ai 4,5 km. I viaggi di lunghezza inferiore, infatti, non sono molto rilevanti ai fini del consumo energetico ed inoltre con buona probabilità si riferiscono all’insieme di micro spostamenti che hanno carattere non sistematico.

| idterm integer | timedate timestamp without time zone | latitude integer | longitude integer | speed smallint | direction smallint | grade smallint | panel smallint | distance smallint |
|-------------------|---|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 330 | 2011-05-10 10:16:02 | 41672379 | 12499607 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 330 | 2011-05-10 10:19:43 | 41685811 | 12490340 | 74 | 314 | 3 | 1 | 2075 |
| 330 | 2011-05-10 10:21:19 | 41697695 | 12470977 | 76 | 304 | 3 | 1 | 2095 |
| 330 | 2011-05-10 10:22:57 | 41710929 | 12455360 | 58 | 336 | 2 | 1 | 2037 |
| 330 | 2011-05-10 10:24:33 | 41725383 | 12440444 | 80 | 304 | 3 | 1 | 2091 |
| 330 | 2011-05-10 10:26:04 | 41741008 | 12431730 | 78 | 8 | 3 | 1 | 2026 |
| 330 | 2011-05-10 10:27:32 | 41757289 | 12436309 | 62 | 36 | 3 | 1 | 2044 |
| 330 | 2011-05-10 10:29:23 | 41774292 | 12444388 | 72 | 358 | 3 | 1 | 2113 |
| 330 | 2011-05-10 10:31:13 | 41791325 | 12451437 | 62 | 12 | 3 | 1 | 2009 |
| 330 | 2011-05-10 10:32:55 | 41808781 | 12457400 | 86 | 24 | 3 | 1 | 2017 |
| 330 | 2011-05-10 10:36:18 | 41825038 | 12468225 | 58 | 18 | 3 | 1 | 2056 |
| 330 | 2011-05-10 10:39:45 | 41842102 | 12475669 | 60 | 22 | 3 | 1 | 2050 |
| 330 | 2011-05-10 10:45:12 | 41852386 | 12476575 | 18 | 276 | 3 | 1 | 2001 |
| 330 | 2011-05-10 10:47:53 | 41854749 | 12476006 | 0 | 40 | 3 | 2 | 709 |
| 330 | 2011-05-10 11:20:52 | 41854671 | 12476024 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

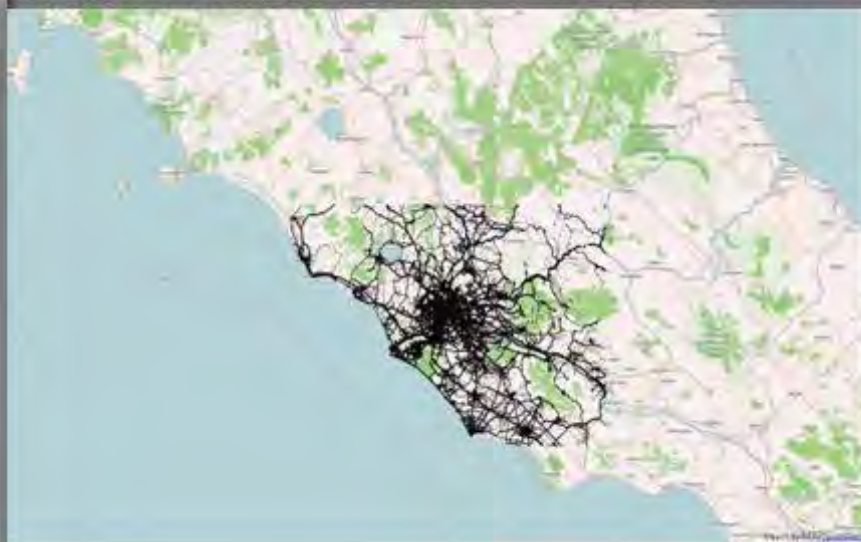


Figura 3 - Il dettaglio della composizione del database OctoTelematics

Dall’analisi sono stati ulteriormente esclusi quei percorsi che presentavano anomalie (quali velocità estremamente alte per lunghi tratti di percorso, dati mancanti nella comunicazione GPS, ecc.). Il set così ottenuto è stato utilizzato nel presente lavoro per l’analisi della dislocazione e dimensionamento delle infrastrutture.

Il numero di viaggi ottenuti da questa procedura di selezione relativa alla settimana considerata e disponibili per la successiva elaborazione è quindi di 57.890.

Figura 4 presenta uno dei risultati possibili ottenuto tramite l’utilizzo di opportune risorse software cartografiche applicate al complesso dei dati OctoTelematics del mese di maggio 2013.

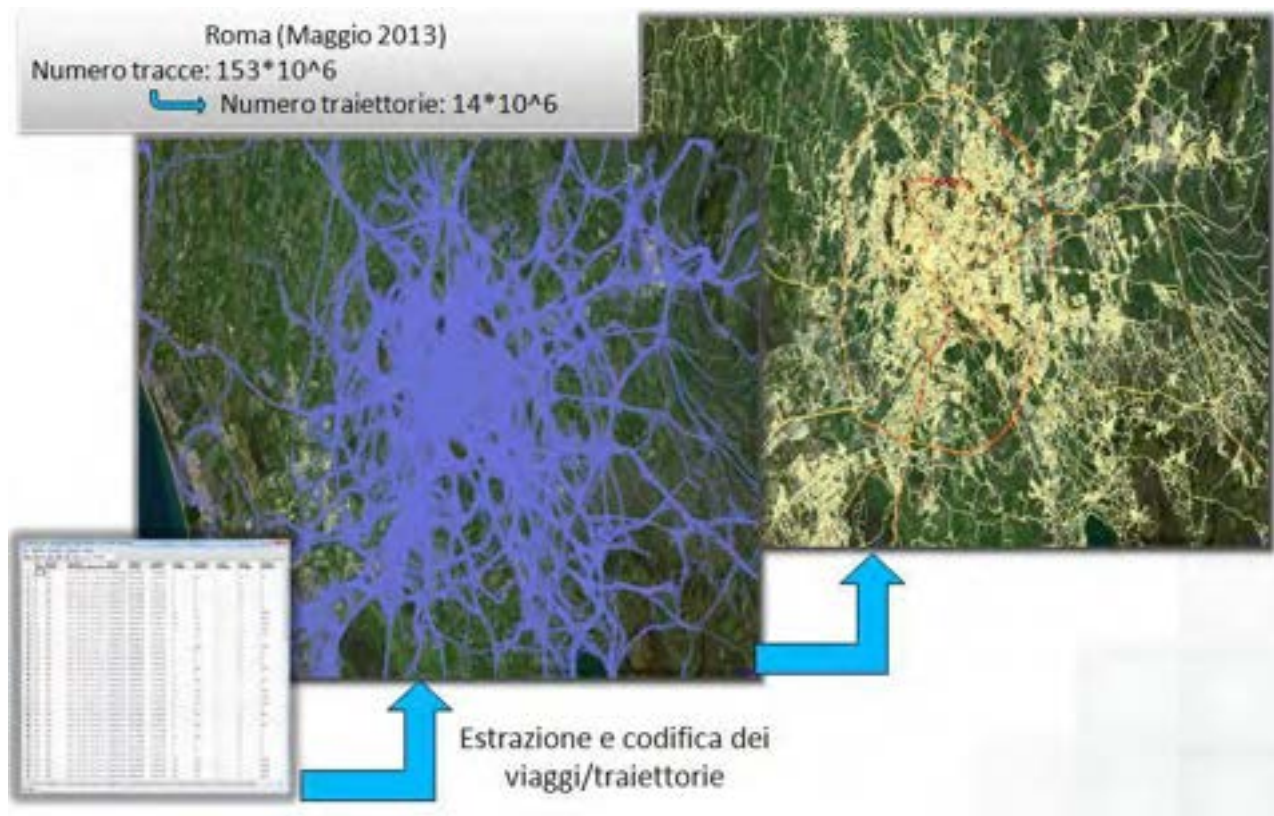


Figura 4 – Una rappresentazione dei dati sulla cartografia di Roma

La Figura 5 presenta un altro risultato dell'associazione dati OctoTelematics – cartografia stradale; in essa vediamo rappresentati due momenti diversi di un giorno ferialo in cui vengono messi in evidenza tramite la rappresentazione delle tracce del database le densità veicolari attorno ed all'interno dell'area GRA di Roma.



Figura 5 – Le densità veicolari stimate tramite i dati OctoTelematics

3.3 Map-matching per la ricostruzione delle traiettorie di viaggio

Una volta disponibili le tracce veicolari, è stato sviluppato ed applicato un algoritmo di map-matching per la ricostruzione dei percorsi sulla rete stradale digitalizzata (MULTINET). L'algoritmo fornisce in output per ciascun viaggio la sequenza di archi (strade) e di nodi (incroci) attraversati e i relativi tempi di percorrenza; nel database OctoTelematics il viaggio invece è descritto tramite una sequenza di posizioni GPS, con intervalli di 2 chilometri oppure 30 secondi (nel caso di strade principali).

Il map-matching abilita numerose analisi atte a migliorare la comprensione del traffico altrimenti impraticabili o di difficile praticabilità con le tradizionali tecniche di monitoraggio, in particolare:

- Percorsi tra le differenti zone della città;
- Provenienza del traffico in ingresso alla città;
- Tassi di svolta alle intersezioni della rete;
- Quote di traffico sulle rampe di accesso o di uscita delle autostrade e delle strade primarie;
- Strade e intersezioni più trafficate;
- Zone di provenienza o destinazione del traffico in transito su specifiche strade o intersezioni;
- Correlazione spazio-temporale tra elementi della rete stradale.

Propedeutico a tutte queste analisi è la ricostruzione dei tragitti percorsi dai veicoli sulla rete stradale a partire dai dati GPS. Questi dati sono affetti da errori di posizionamento e sono molto spazati tra di loro (circa 2 km), caratteristiche che rendono non ovvia la ricostruzione dell'effettivo percorso sulla rete.

A partire da queste condizioni di bassa campionatura l'algoritmo è sviluppato per ricostruire in maniera affidabile i percorsi sulla rete, tenendo in considerazione la struttura topologica e geometrica della rete stradale e il vincolo spaziale determinato dalla distanza tra due tracce consecutive misurata dal dispositivo di bordo OctoTelematics.

L'algoritmo utilizza la rete digitale MULTINET della provincia di Roma rappresentata da un grafo costituito da 205.567 nodi e 249.844 archi per un totale di circa 24.950 chilometri di lunghezza complessiva. Il grafo include 182.561 archi con doppio senso di marcia e 42.667 manovre vietate.

Il metodo di rappresentazione del grafo è basato su una collezione di liste di adiacenza. La rappresentazione con liste di adiacenza di un grafo $G=(V,E)$ consiste in un array di Adj di $|V|$ liste, una per ogni vertice in V . Per ogni $u \in V$, la lista di adiacenza $Adj[u]$ contiene tutti i vertici v tali che esista un arco $(u,v) \in E$. Ovvero $Adj[u]$ include tutti i vertici adiacenti a u in G .

La rappresentazione con liste di adiacenza ha l'interessante proprietà che la quantità di memoria richiesta è pari a $V+E$. Le liste di adiacenza possono essere facilmente adattate per rappresentare i grafi pesati, cioè, i grafi per i quali ogni arco ha un peso associato, tipicamente dato da una funzione peso $w: E \rightarrow \mathbf{R}$. Per esempio, sia $G(V,E)$ un grafo pesato con la funzione peso w . Il peso $w(u,v)$ dell'arco $(u,v) \in E$ viene memorizzato semplicemente assieme al vertice v nella lista di adiacenza di u .

Il primo passo dell'algoritmo di map-matching è quello di individuare gli archi candidati per ciascuna traccia della traiettoria presa in esame. Gli archi candidati sono tutti gli archi che distano geometricamente meno di una certa distanza dalla traccia presa in esame.

Data la traiettoria $T=p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3 \rightarrow \dots \rightarrow p_n$ si individuano gli archi stradali candidati che si trovano entro un raggio prefissato in base alla qualità del segnale associato alla traccia p_i , con $1 \leq i \leq n$. Successivamente si individuano i punti candidati che sono le proiezioni ortogonali della traccia p_i sui segmenti stradali definiti come sopra.

La proiezione ortogonale di una traccia su un segmento stradale e è il punto c su e tale che $c = \arg \min_{c_i \in e} dist(c_i p)$ dove $dist(c_i p)$ è la distanza tra p e qualsiasi punto c_i su e . Si usano inoltre e_i^j e c_i^j

per denotare rispettivamente il j th segmento candidato e il punto candidato della traccia p_i . Ad esempio, come indicato in Figura 6, i punti candidati di p_i sono c_i^1 , c_i^2 e c_i^3

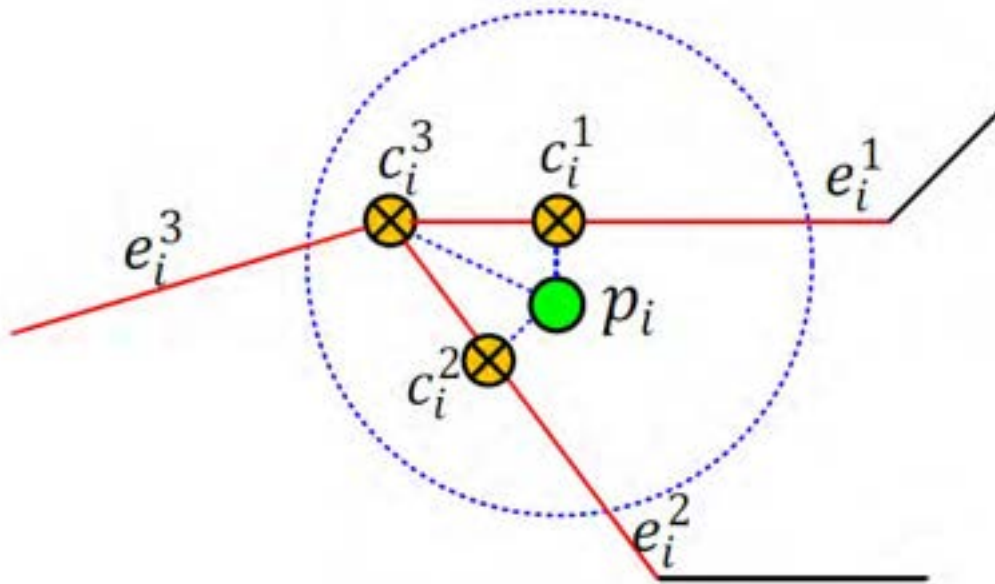


Figura 6: Punti candidati della traccia p_i

Da questa operazione si ottiene pertanto una lista ordinata di archi per ciascuna traccia del percorso con le informazioni sulla distanza euclidea e sulla progressiva lungo l'arco a partire dal nodo di ingresso.

Una volta individuato l'insieme dei punti associati a ciascuna traccia della traiettoria T , il problema è quello di scegliere un punto candidato per ciascun insieme tale che $P: c_1^{j1} \rightarrow c_2^{j2} \rightarrow \dots \rightarrow c_n^{jn}$ corrisponda il più possibile a $T: p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow \dots \rightarrow p_n$.

Per determinare l'insieme P si applica un algoritmo di routing che calcola il cammino ottimo $E(c_1^j, c_2^j)$: $e_1 \rightarrow e_2 \rightarrow \dots \rightarrow e_k$ come insieme ordinato di archi che collega ciascuna coppia di punti candidati appartenenti a due tracce adiacenti. Ad ogni cammino $E(c_1^j, c_2^j)$ viene associata la distanza $L(c_1^j, c_2^j) = \sum_{l=1}^k d_{el}$ data dalla somma delle lunghezze degli archi attraversati.

Una volta calcolati i cammini minimi per ogni coppia di punti candidati appartenenti a due tracce adiacenti si determinano tutti i possibili percorsi che collegano in modo sequenziale più tracce adiacenti. Nel caso di traiettorie con un numero di tracce minore o uguale a 4 si individuano tutti i possibili percorsi che consentono di collegare ordinatamente le tracce. Successivamente si calcola la lunghezza dei singoli percorsi individuati $L_k = \sum L(c_i^j, c_j^j)$ e si seleziona quello che presenta uno scarto minimo dalla distanza misurata dall'unità di bordo. Nel caso di traiettorie con un numero di tracce superiore a 4, la procedura precedente viene ripetuta fino all'ultima traccia della traiettoria.

Per la determinazione del cammino tra tracce successive è stato sviluppato uno specifico algoritmo di cammino ottimo basato sull'algoritmo A-star. La ricerca A-star è una strategia di ricerca informata in cui la scelta del cammino si basa sia sul costo effettivo $C1$ necessario per raggiungere un nodo intermedio n dal

nodo di origine e sia sulla stima del costo C2 necessario per raggiungere il nodo finale (obiettivo) a partire dal nodo intermedio n. La funzione di ricerca è, quindi, composta da due funzioni di costo:

$$F(n) = C1(n) + C2(n)$$

La ricerca A-star è conosciuta anche come ricerca A-Stella o ricerca A*. La strategia di ricerca A-star è una variante della ricerca a costo uniforme. A differenza di quest'ultima la ricerca A-star analizza il costo del cammino C1 soltanto fino ad un livello di profondità n (nodo intermedio) e da qui stima il cammino C2 per raggiungere il nodo obiettivo. In tal modo la ricerca A-star permette di analizzare dapprima i cammini presumibilmente migliori, ossia quelli in grado di minimizzare la somma delle funzioni di costo C1 e C2.

Una volta calcolati i cammini ottimi per una successione di tracce si confrontano le lunghezze dei cammini ottimi con le distanze misurate dalle OBU e si seleziona la coppia di archi con il cammino che presenta uno scarto in lunghezza minimo.

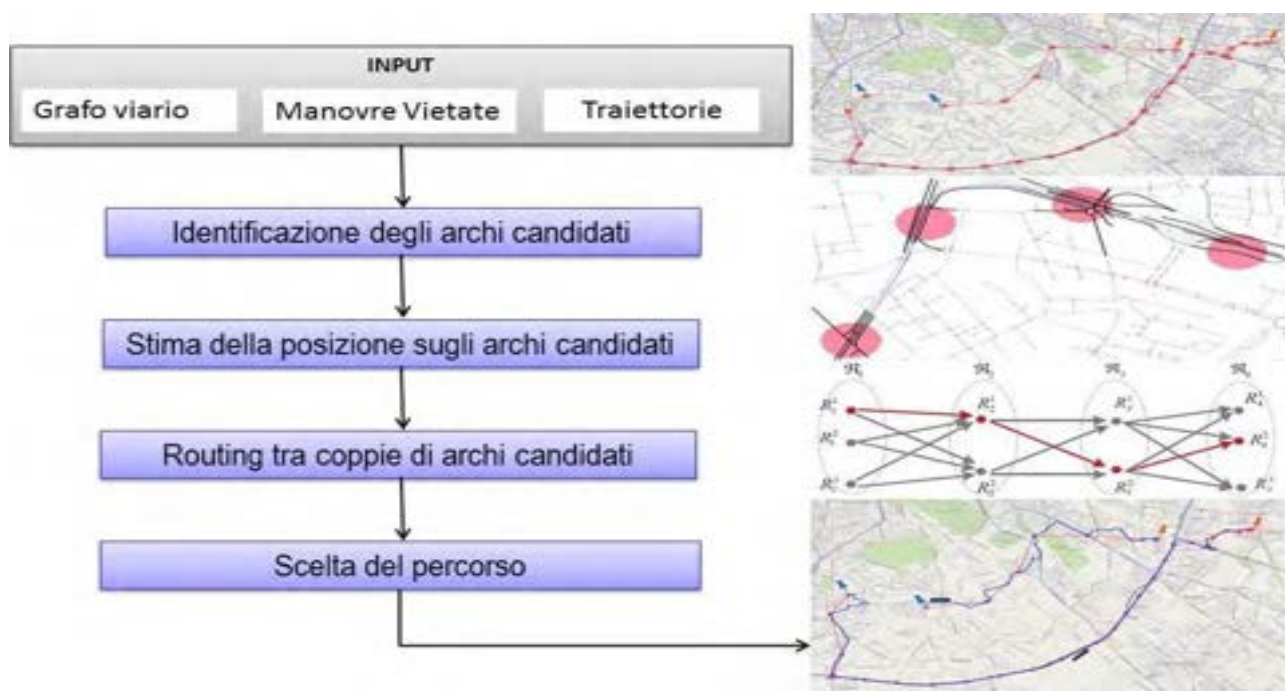


Figura 7: Passi principali dell’algoritmo di Map-Matching

4 Analisi dei dati e risultati

4.1 La Cluster Analysis per la determinazione delle collocazioni ottimali delle stazioni di ricarica

La nozione di Cluster Analysis comprende diversi algoritmi e metodi capaci di raggruppare nelle rispettive categorie interne oggetti simili provenienti da un insieme di dati. Infatti spesso emerge nelle ricerche quantitative la necessità di organizzare i dati osservati entro strutture classificabili, cioè sviluppare una tassonomia dei dati. In altre parole la cluster analysis è uno strumento di analisi dei dati che vuole separare differenti oggetti in gruppi (clusters) tali che il grado di associazione (secondo un criterio da definire) tra due oggetti sia massimo se essi appartengono allo stesso gruppo e minimo nel caso opposto; essa opera in modo da cercare di scoprire l’esistenza di strutture simili nei dati senza chiedersi il perché della loro esistenza.

I modi operativi della cluster analysis variano e si sviluppano secondo diversi algoritmi che differiscono nella loro concezione di cosa costituisce un cluster e come si possa organizzare razionalmente la struttura dei dati in clusters. Approcci molto utilizzati prevedono l'organizzazione in clusters che minimizzino le distanze (euclidee e non) tra gli appartenenti al cluster, oppure le densità se si tratta di dati di area, ecc..

La cluster analysis non è un procedimento automatico, quanto piuttosto un procedimento iterativo che comporta prove ripetute che ripercorrono il ciclo di elaborazione dei dati con modifiche dei parametri del modello di classificazione fino ad ottenere un risultato dalle proprietà accettabili.

Nel contesto del problema esposto al § 1.3, specificamente il problema al punto a) (determinazione della dislocazione ottimale delle stazioni di ricarica), la cluster analysis può essere utilmente applicata per cercare di assegnare all'area cittadina le collocazioni ottimali delle stazioni di ricarica elettrica. Con questo affermiamo di volerla applicare per ricercare una soluzione *di primo tentativo* relativamente alla collocazione delle stazioni per le diverse aree cittadine in cui si vanno a posizionare i punti finali di sosta di ciascun tragitto degli utilizzatori di veicolo elettrico.

L'idea ispiratrice è la seguente: i punti finali di sosta possono essere intesi come momenti utili alla ricarica elettrica (lenta o rapida che sia), e vanno ad "affollare" in maniera diversa l'area cittadina, in dipendenza delle varie esigenze di spostamento: l'organizzazione razionale (secondo un criterio da definire) dei punti finali di sosta in gruppi dovrebbe quindi risolvere il problema della collocazione delle stazioni di ricarica, nel senso di voler associare a ciascun gruppo una stazione di ricarica (vedremo nel seguito che questa è da intendersi in effetti come una soluzione di primo tentativo).

Un criterio accettabile e ragionevole per l'organizzazione in gruppi dei punti finali di sosta è quello che prescrive la minimizzazione della somma delle distanze euclidee intra-gruppo: in altre parole, esiste un procedimento della cluster analysis da noi adottato (il cosiddetto procedimento K-means) che prevede la ricerca di una soluzione di organizzazione dei punti finali di sosta in gruppi tali che la somma complessiva delle distanze euclidee interne a ciascun gruppo, rispetto al punto medio (baricentro o centroide) del gruppo stesso, sia minima (si veda Figura 8).

Centroidi (baricentri) C_i tali che:

Σ distanze infragruppo $d_i = \text{Min}$

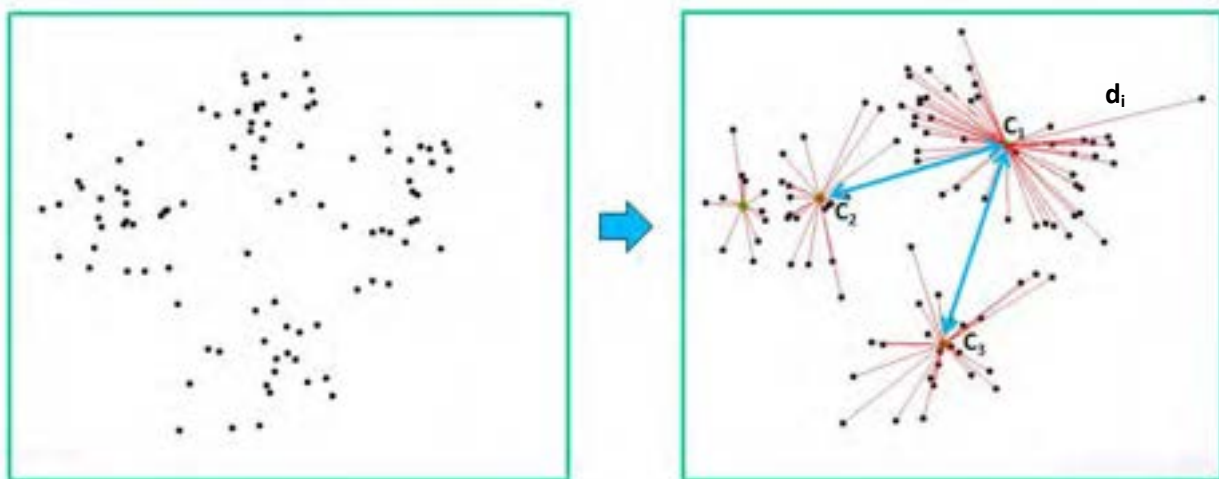


Figura 8 – La cluster analysis K-means con un criterio di distanza euclidea

Il procedimento K-means presuppone la specifica iniziale del numero di gruppi entro cui suddividere i dati disponibili, e come tutti i metodi di partizionamento, alla fine mostra come raggruppare i dati che popolano uno spazio multidimensionale (nel nostro caso lo spazio è bidimensionale, essendo i punti finali di sosta descritti tramite le coordinate spaziali longitudine-latitudine) in un numero specificato di gruppi differenti.

Nel caso illustrato in Figura 8, la soluzione K-means riesce ad assicurare un minimo nella somma di *tutte le lunghezze* d_i dei segmenti rossi rappresentanti la distanza di ciascun punto rispetto al suo centroide.

Il procedimento K-means con distanza euclidea fornisce una soluzione tale che *complessivamente* gli utilizzatori dei veicoli elettrici compiano gli spostamenti più brevi per recarsi alle stazioni di ricarica, supposte posizionate nei rispettivi centroidi.

Nella nostra analisi è stato utilizzata una tecnica più evoluta denominata Fuzzy K-means implementata nell’ambiente software Matlab (comando “fcm”), in cui a ciascun punto come risultato viene associato un grado di appartenenza a ciascun gruppo (espresso come numero variabile tra zero ed uno); in questo modo l’utente riesce ad avere un’idea di quanta “forte” sia l’appartenenza del punto a ciascun gruppo, e quindi a valutare ciascun assegnamento con una maggiore o minore affidabilità.

Tabella 4 - Esempio di possibile risultato di un'analisi Fuzzy K-means

| Grado di appartenenza | Gruppo1 | Gruppo2 | Gruppo3 |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Punto 1 | 0.87 | 0.08 | 0.05 |
| Punto 2 | 0.42 | 0.43 | 0.15 |

Consideriamo, ad esempio, i risultati di una clusterizzazione a 3 gruppi riportati in Tabella 4. Il punto 1 ottiene un grado di appartenenza a ciascun gruppo di (0.87, 0.08, 0.05): possiamo dire con tranquillità che il punto può essere associato al gruppo 1 cui compete il valore nettamente predominante di 0.87; al contrario, il punto 2 ottiene un grado di appartenenza di (0.42, 0.43, 0.15): l’assegnazione è più dubbia visti i valori confrontabili dei gruppi 1 e 2.

Questo è un risultato tipico della logica fuzzy, che è una logica a più valori, quindi non binaria.

La procedura implementata in Matlab e rappresentata dal comando “fcm” comincia tracciando in maniera casuale i centroidi, che devono rappresentare i punti medi di ciascun cluster, ed i valori di appartenenza per ciascun punto. Queste assunzioni iniziali sono chiaramente valori di primo tentativo, che vengono poi corretti e portati ad una posizione ed un valore finale da una procedura iterativa basata sulla minimizzazione di una funzione obiettivo.

Le tracce relative ai punti finali di sosta dei 57.890 tragitti che costituiscono il campione OctoTelematics tra le 7:00 e le 10:00 del mattino della settimana 6-11 maggio 2013 sono riportati in Figura 9, nei loro valori di longitudine e latitudine; tali tracce dovrebbero rappresentare i punti di arrivo degli spostamenti sistematici casa-lavoro e degli spostamenti verso punti di attrazione quali uffici pubblici, ospedali, ecc..

Si è scelto di concentrare l’analisi in una zona rettangolare che racchiude abbastanza strettamente l’area del Grande Raccordo Anulare di Roma; in figura 9 vengono rappresentati schematicamente il GRA e le principali strade consolari di Roma.

In Figura 10 viene riportato l’istogramma delle varie lunghezze di tragitto per il campione di cui sopra, inteso come diagramma “numerosità delle traiettorie vs. lunghezza delle traiettorie”. In ascisse sono riportate le lunghezze dei tragitti secondo tacche successive di 20 chilometri (fondo scala a 180 chilometri), quindi si vede una lunghezza minima di 4,5 chilometri ed una massima di 170 chilometri circa, con un valor medio di 12,88 chilometri. Si può notare come la numerosità del campione scemi fortemente oltre i 60 chilometri.

Un parametro libero importante della nostra analisi da fornire alla procedura di cluster analysis è il numero di gruppi; tale parametro, come detto al § 2.1, deve tenere conto dello scaling da effettuare sull’ipotizzabile campione di veicoli elettrici rispetto alla consistenza del campione OctoTelematics, che alla data del 2013 in area romana arrivava al 6% circa del circolante complessivo.

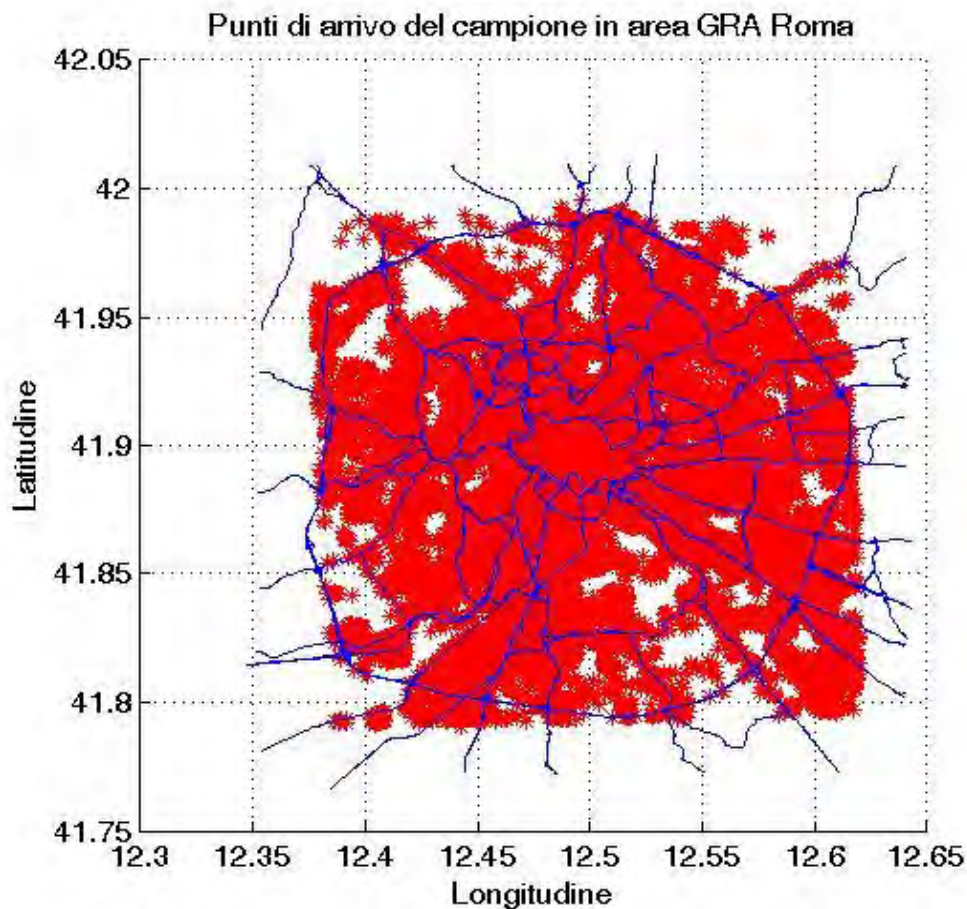


Figura 9 – Tracce dei punti finali di sosta del campione Octotelematics

La nostra scelta di fissare a 100 il numero di gruppi su cui spalmare le 57.890 tracce finali del campione OctoTelematics ha implicato un numero medio di utenti/giorno per le stazioni di ricarica di 96,5 circa; tale risultato si ottiene dalla semplice operazione:

$$57.890 \text{ (numerosità del campione)} / (100 \text{ gruppi} \times 6 \text{ giorni}) = 96,483 \text{ utenti/giorno}$$

per ciascuna stazione di ricarica.

A nostro parere questo impegno giornaliero potrebbe essere sostenuto con relativa tranquillità da una stazione di ricarica dotata di un numero opportuno di attacchi per l'erogazione dell'energia elettrica di ricarica (lenta e rapida).

L'applicazione del metodo fuzzy K-means di cluster analysis sulle 57.890 tracce finali di sosta entro il GRA, con l'impostazione di suddivisione del campione in 100 gruppi, ha portato alla soluzione presentata in Figura 11.

I gruppi in Figura 11 vengono presentati tramite codifica cromatica; essi non hanno la stessa numerosità (poiché la procedura di cluster analysis cerca il suo ottimo variando anche la consistenza dei gruppi) e risultano di forma diversa.

A ciascun gruppo compete un centroide (il punto medio geografico del gruppo) rispetto al quale è stata curata l'ottimizzazione delle distanze complessive; in questo modo riusciamo ad organizzare i punti di sosta secondo un criterio di ragionevole accettazione.

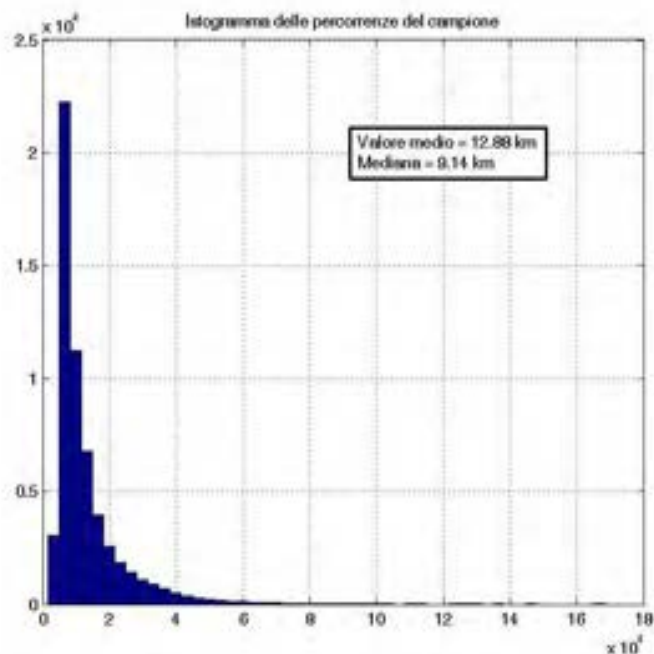


Figura 10 – Istogramma della lunghezza dei tragitti del campione scelto.

Naturalmente la disponibilità dei centroidi, con le loro definizioni puramente geometriche, si può anche non adattare a quella che è l’offerta della zona cui si riferisce il gruppo; la Figura 12 mette a confronto un particolare ingrandito della Figura 11 (a destra) con la cartografia corrispondente (a sinistra), da cui si può notare come i centroidi della cluster analysis (rappresentati dai pallini rossi) vadano ad collocarsi a volte in zone verdi non abitate o non attrezzabili come aree tecniche idonee alla ricarica.

In altre parole l’equazione:

$$\text{centroide} = \text{stazione di ricarica}$$

è da interpretarsi sempre con le opportune cautele e sempre da confrontare con la disponibilità del territorio cui si riferisce: va condotta un’analisi di dettaglio per ciascuna zona per verificare le compatibilità tra la soluzione analitica e la disponibilità territoriale, pensando in caso di necessità ad un ricollocamento oppure ad uno spezzettamento della ricarica in più siti di zona, anche se questo fa dirigere la soluzione della cluster analysis verso una situazione subottimale.

La cluster analysis riesce dunque a fornire una prima soluzione al problema delle collocazione delle centrali di ricarica, attorno alla quale è d’uopo cercare una soluzione più definitiva ed accettabile, confrontandosi come detto con le dotazioni strutturali di zona (disponibilità di parcheggi, di stazioni di servizio tradizionali, capacità delle strutture locali della rete elettrica, ecc.).

4.2 Ricostruzione dei profili di velocità per l’assegnazione del fabbisogno energetico

La risposta al secondo quesito del § 1.3, punto b) (determinazione per ciascuna stazione della sua “taglia” o impegno energetico) passa per una procedura più complessa rispetto a quella precedente.

In questo caso si tratta di valutare, zona per zona (per le 100 ipotizzate nel § 3.1), quale sia il fabbisogno energetico da assegnare alla/alle relative stazioni di ricarica elettrica, in maniera da reintegrare *almeno* quanto speso complessivamente per raggiungere la zona di destinazione: per avere la mappatura energetica totale bisogna quindi conoscere e sommare, utente per utente e zona per zona, tutte le energie spese per gli spostamenti.

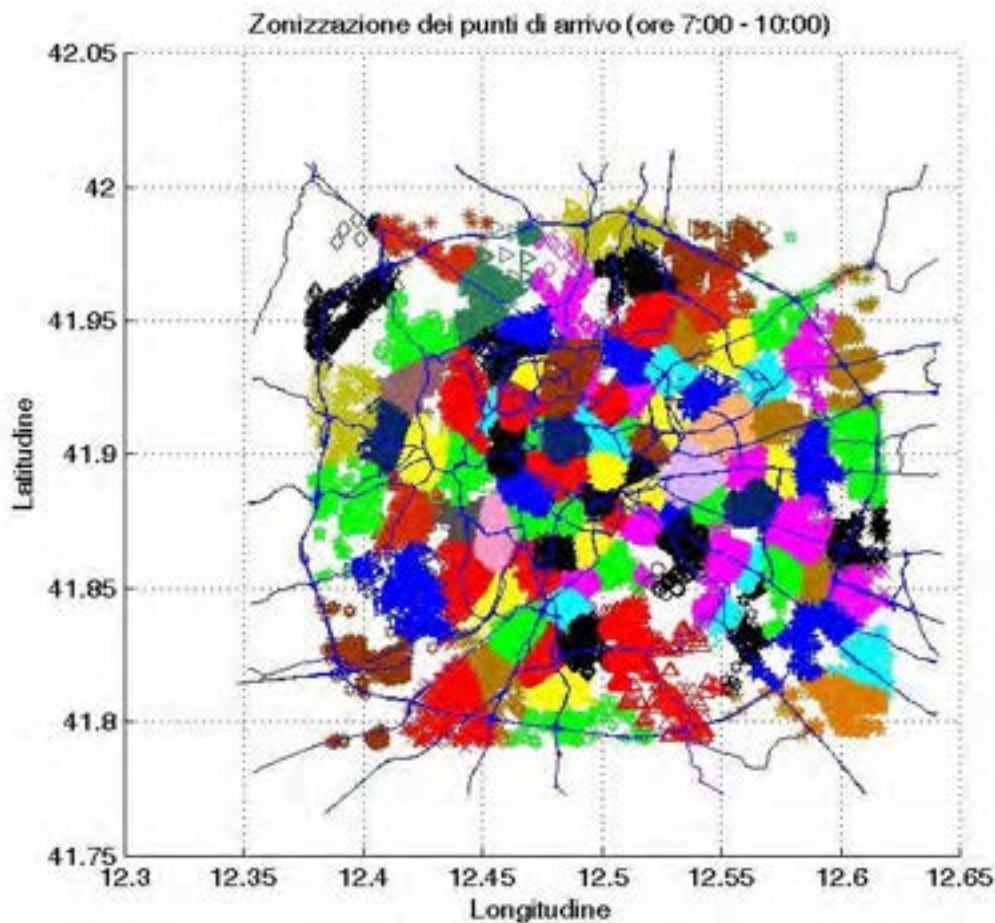


Figura 11 – Il risultato della cluster analysis di tipo fuzzy K-means (100 gruppi)

I punti fermi che noi abbiamo assunto in questo scenario di valutazione energetica sono i seguenti:

- a) Supporremo che tutti gli spostamenti siano stati effettuati da 2 tipologie di vetture elettriche, una medio-alta di segmento C/D (e per essa assumeremo la Nissan Leaf elettrica, vettura di successo e ben conosciuta nelle sue prestazioni) ed una bassa di segmento B (e per essa assumeremo la Mitsubishi i-Miev). Questo per differenziare entro limiti ragionevoli i consumi elettrici.
- b) Supporremo di associare i tragitti di lunghezza maggiore di 10 km alla Nissan Leaf, quelli di lunghezza minore o uguale a 10 km alla Mitsubishi i-Miev (già ricordare che i tragitti considerati sono di sola andata, quindi le considerazioni energetiche devono tenere conto anche del ritorno a domicilio).
- c) Supporremo che la rete di trasporto sia abbastanza carica, almeno nell'intervallo di tempo che ci interessa. Questa supposizione è abbastanza sostenibile perché il nostro campione OctoTelematics è collocato nella fascia oraria 7:00 – 10:00.
- d) Supporremo di poter trascurare la componente di gravità nelle valutazioni energetiche. In una città come Roma questo introduce una qualche perdita di precisione, ma d'altra parte non abbiamo informazioni tali da poter associare ad ogni punto del tragitto di un veicolo la sua componente altimetrica (l'altimetria GPS è imprecisa, ed in ogni caso viene rilevata ogni 2 chilometri o 30 secondi).
- e) Supporremo che la massa trasportata da ciascun veicolo corrisponda a quella di una persona media (75 kg.). E' un'ipotesi abbastanza realistica perché il tasso di occupazione media di un veicolo a Roma è di 1.2 persone.

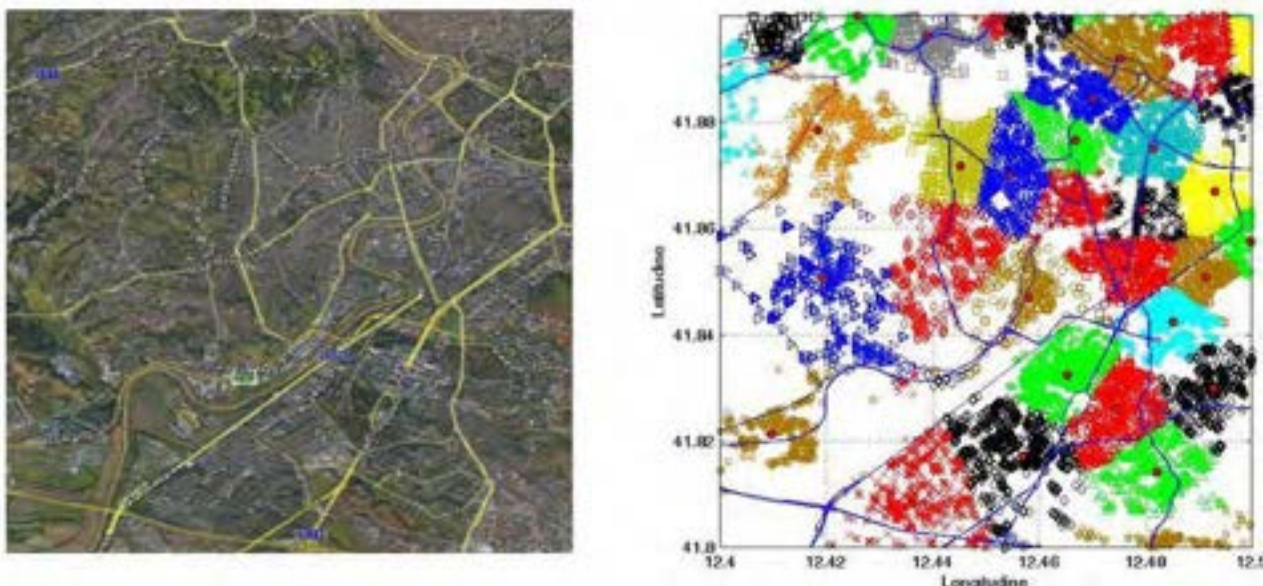


Figura 12 – Particolare della Figura 11 (a sinistra) e confronto con la cartografia (a destra)

Queste supposizioni aiutano nella definizione puntuale dei profili di velocità e nel calcolo conseguente dei consumi istantanei. Ricordiamo che le velocità vengono misurate dal sistema OctoTelematics ogni 2 chilometri oppure ogni 30 secondi, quindi serve un processo inferenziale per poter ricostruire i valori di velocità intermedi mancanti nella loro temporizzazione istantanea.

Per una valutazione più grossolana del consumo energetico si potrebbe utilizzare la velocità media di tragitto (rilevabile dai dati OctoTelematics) oppure le linee di interpolazione lineare tra tracce GPS consecutive (si vedano i pallini rossi di Figura 13 e le linee rosse di collegamento). Questo metodo, tuttavia, sottostima i consumi poiché trascura le variazioni cinematiche, che sono quelle che richiedono un contributo importante di energia.

La Figura 13 aiuta a capire la situazione ed il metodo seguito per inferire il profilo di velocità per ogni tragitto.

Poiché di ogni tragitto sappiamo, tramite la tecnica map-matching, la sequenza di strade percorse dal veicolo, e poiché abbiamo molte tracce sull'intera rete, possiamo pensare di stimare la velocità mancante di un dato veicolo su una determinata strada come media delle velocità percorse da tutti i veicoli che hanno lasciato traccia sulla stessa strada in un intervallo di tempo contemporaneo (meglio, entro +/- 7 minuti).

L'assunzione c) di rete carica autorizza a ritenere che la velocità effettiva del veicolo in quella strada sia abbastanza simile a quella ottenuta dalla media degli altri veicoli, perché in condizioni di flusso di traffico sostenuto tutte le velocità si assomigliano.

Ad ogni tragitto è stato quindi associato un profilo di velocità ricostruito a partire dagli archi percorsi e dalla velocità media degli stessi nel periodo di transito analizzato. I profili di velocità così ottenuti sono stati quindi tarati in modo tale che la velocità media calcolata su tutti i tratti corrispondesse a quella effettiva del tragitto considerato, calcolata a partire dai dati GPS.

In questo modo, con l'aiuto delle altre rilevazioni contemporanee, riusciamo a ricostruire il profilo di velocità da impiegare poi nella successiva fase di stima del consumo energetico.

La Figura 13 è esplicativa: i dati GPS per il viaggio 22465 sono quelli in corrispondenza dei pallini rossi e sono gli unici disponibili; tutte le altre velocità provengono dai valori medi di misure effettuate sulle stesse strade da altri veicoli che sono transitati in una finestra temporale intorno all'istante considerato (+/- 7 minuti).

La figura di velocità che ne deriva (in blu) è ben diversa da quella, ad esempio, delle linee interpolanti, riportata parzialmente in rosso in Figura 13, che presenta delle variazioni molto più contenute e cambiamenti innaturali. Anche altri tipi di interpolazione (spline, polinomiale, cubic-spline, ecc) non hanno

dato risultati soddisfacenti, sottostimando le variazioni di velocità o aggiungendone di spurie. La figura di accelerazione di traslazione viene calcolata dalla figura precedente tramite operazione di derivata matematica e successivo smoothing del risultato per ridurre gli effetti numerici di variazioni molto spinte ed irreali; più precisamente, più che smoothing, noi abbiamo introdotto una limitazione ai valori di accelerazione positiva e negativa ($\pm 3 \text{ m/sec}^2$).

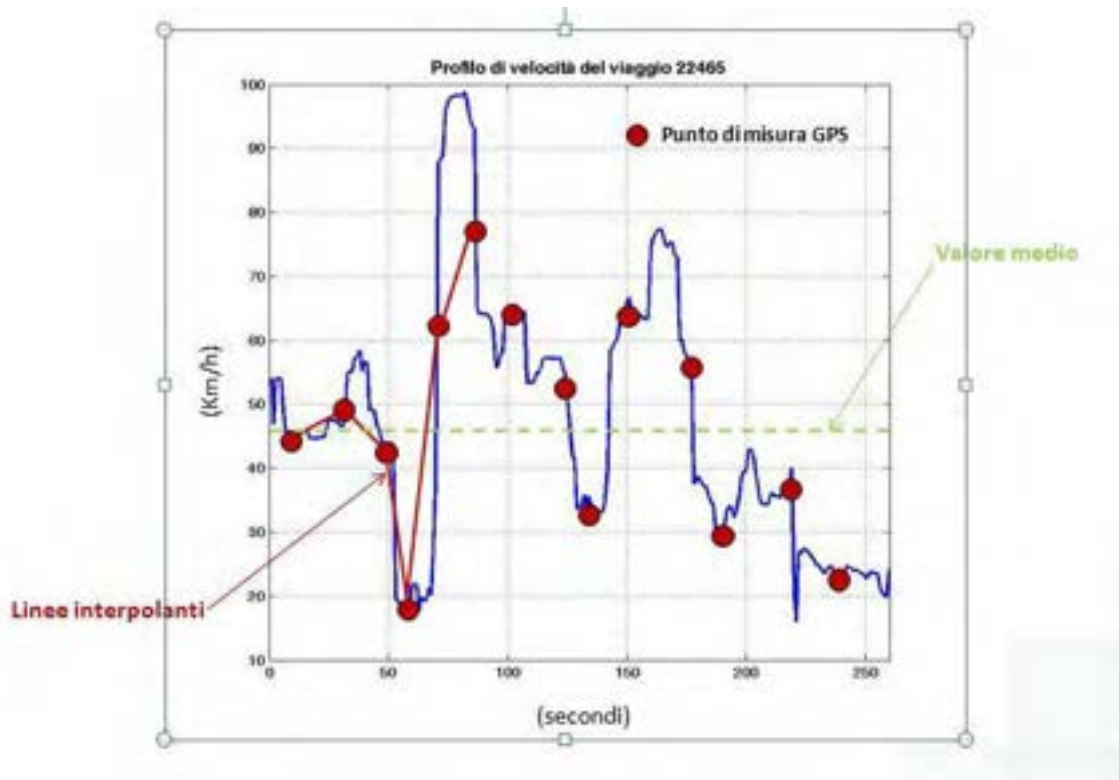


Figura 13 – Un profilo di velocità ricostruito

La disponibilità della velocità, dell'accelerazione e delle masse implicate (quella del veicolo e del conducente, si vedano ipotesi b) ed e) di inizio paragrafo), assieme all'ipotesi di trascurabilità della componente di gravità (si veda ipotesi d) di inizio paragrafo), rende risolubile il problema del calcolo della energia spesa per ciascuno spostamento; il relativo metodo di calcolo viene spiegato nei due paragrafi successivi.

4.3 La mappa dei consumi per la Nissan Leaf

Nissan Leaf è l'auto 100% elettrica di ultima generazione che consente fino a 200 km di autonomia: le batterie si caricano fino all'80% della capacità totale in appena mezz'ora, aprendo così ad importanti orizzonti nell'uso del veicolo elettrico nel mondo del trasporto.

Un esemplare di tale veicolo è stato acquistato da ENEA per ragioni di verifica prestazionale e sperimentazione della ricarica veloce; un opportuno hardware e software di interfaccia alla linea CAN di bordo predisposto da ENEA permette di registrare le grandezze cinematiche ed energetiche coinvolte nell'utilizzo su strada. In Figura 14 è riportato un esempio delle grandezze tipiche rilevate. Quelle di interesse per il presente studio sono la velocità istantanea (colonna VVehicle) e la potenza elettrica coinvolta (colonna Battery_KW) della batteria. Utilizzando anche la variabile tempo (colonna Time), abbiamo ricavato tramite operazione di derivata l'accelerazione istantanea dell'auto.

| Date | Time | MotorT_N | Motor_Rp | Battery_A | Battery_V | Vleft | VRight | VVehicle | if | SOC | Battery_kW | Motor_kW |
|-------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|--------|--------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| 20140318 12 | 63530739722 | -18 | -239.5 | 2.5 | 391.5 | 3.09 | 4.045 | 3.41 | 84.57031 | 0.97875 | 0.451446864 | |
| 20140318 12 | 63530739723 | -22 | -187.5 | 2.5 | 391.5 | 3.01 | 3.9 | 3.3 | 84.57031 | 0.97875 | 0.43196889 | |
| 20140318 12 | 63530739725 | -16 | -270.5 | 3 | 391.5 | 3.145 | 4.085 | 3.46 | 84.57031 | 1.1745 | 0.4532271 | |
| 20140318 12 | 63530739725 | -17.5 | -276.5 | 2.5 | 391.5 | 3.57 | 4.66 | 3.94 | 84.57031 | 0.97875 | 0.506712715 | |
| 20140318 12 | 63530739726 | -13 | -296.5 | 3.5 | 391.5 | 3.57 | 4.66 | 3.94 | 84.57031 | 1.37025 | 0.403642296 | |
| 20140318 12 | 63530739726 | -15 | -302.5 | 2.5 | 391.5 | 3.57 | 4.66 | 3.94 | 84.57031 | 0.97875 | 0.475165889 | |
| 20140318 12 | 63530739727 | -13 | -332.5 | 3 | 391.5 | 4.025 | 5.175 | 4.4 | 84.57031 | 1.1745 | 0.452651142 | |
| 20140318 12 | 63530739727 | -13 | -317.5 | 2.5 | 391.5 | 4.37 | 5.65 | 4.79 | 84.57031 | 0.97875 | 0.432230789 | |
| 20140318 12 | 63530739728 | -12 | -351.5 | 2.5 | 391.5 | 4.575 | 5.915 | 5.02 | 84.57031 | 0.97875 | 0.441707927 | |
| 20140318 12 | 63530739728 | -6.5 | -399.5 | 2.5 | 391.5 | 5.025 | 6.565 | 5.55 | 84.57031 | 0.97875 | 0.271931024 | |
| 20140318 12 | 63530739729 | -5 | -396.5 | 2 | 391.5 | 5.31 | 6.88 | 5.83 | 84.57031 | 0.783 | 0.207606915 | |
| 20140318 12 | 63530739729 | -13 | -281.5 | 3 | 391.5 | 4.55 | 5.87 | 4.99 | 84.57031 | 1.1745 | 0.383221944 | |
| 20140318 12 | 63530739734 | 119 | 430.5 | 18.5 | 390 | 5.215 | 4.16 | 4.48 | 84.57031 | 7.215 | 5.364740695 | |
| 20140318 12 | 63530739735 | 108.5 | 572.5 | 21.5 | 390 | 9.545 | 7.835 | 8.32 | 84.57031 | 8.385 | 6.504798489 | |
| 20140318 12 | 63530739735 | 106 | 705.5 | 24.5 | 389.5 | 10.855 | 9.835 | 9.91 | 84.57031 | 9.54275 | 7.831257447 | |
| 20140318 12 | 63530739736 | 98.5 | 834.5 | 27 | 389.5 | 12.225 | 12.015 | 11.61 | 84.57031 | 10.5165 | 8.607780611 | |
| 20140318 12 | 63530739736 | 55 | 927.5 | 21 | 389.5 | 13.945 | 13.855 | 13.31 | 84.57031 | 8.1795 | 5.342016508 | |
| 20140318 12 | 63530739737 | -0.5 | 916.5 | 0.5 | 391.5 | 14.255 | 14 | 13.53 | 84.57031 | 0.19575 | -0.047987828 | |
| 20140318 12 | 63530739737 | -7 | 891.5 | -0.5 | 391.5 | 13.95 | 13.33 | 13.07 | 84.57031 | -0.19575 | -0.653503632 | |
| 20140318 12 | 63530739738 | -4.5 | 830.5 | 0 | 391.5 | 12.6 | 12.72 | 12.13 | 84.57031 | 0 | -0.391363905 | |
| 20140318 12 | 63530739738 | -4.5 | 783.5 | 0 | 391.5 | 11.805 | 12.465 | 11.62 | 84.57031 | 0 | -0.369215677 | |
| 20140318 12 | 63530739739 | -2.5 | 748.5 | 0 | 391.5 | 11.23 | 12.015 | 11.13 | 84.57031 | 0 | -0.195956842 | |
| 20140318 12 | 63530739739 | -2.5 | 729.5 | 0 | 391.5 | 10.115 | 12.01 | 10.6 | 84.57031 | 0 | -0.190982653 | |

Figura 14 - Esempio di dati CAN per la Nissan Leaf

E' stato fatto un utilizzo esteso del veicolo su strade urbane ed extraurbane, accumulando diverse migliaia di chilometri di utilizzo effettivo; tra questi sono state scelti 2.000 chilometri per costruire una mappa dei consumi su strada del veicolo, riportando su file e su grafico l'associazione puntuale (velocità istantanea, accelerazione istantanea) con il consumo elettrico istantaneo.

La Figura 15 riporta il grafico di tale associazione istantanea; essa ha la valenza di un modello tabellare di consumo istantaneo, messo a punto in condizioni sperimentali estese (2.000 chilometri di percorso misto) e quindi abbastanza affidabile nei suoi risultati.

Si può notare l'esistenza della zona di recupero energetico (in blu, con valori negativi di consumo), in corrispondenza delle accelerazioni negative (frenate).

L'utilizzo di tale modello è abbastanza semplice: ad ogni coppia di valori (velocità istantanea, accelerazione istantanea) corrisponde un valore di consumo istantaneo espresso in Wh.

Quindi l'energia totale spesa per un dato tragitto si calcola come somma dei consumi/recuperi specificati istante per istante da questa mappa, quando il tragitto stesso venga suddiviso nelle successive e corrispondenti coppie di (velocità istantanea, accelerazione istantanea) e venga letto sulla mappa il corrispondente valore di consumo/recupero.

4.4 La mappa dei consumi per la Mitsubishi i-Miev

La Mitsubishi i-Miev è un'auto puramente elettrica compatta, che può raggiungere tranquillamente i 130 km/h ed ha un'autonomia dichiarata di oltre 150 km, per la versione disponibile sul mercato italiano.

Per la Mitsubishi i-Miev non avevamo a disposizione dati da prove su strada. Abbiamo dovuto quindi stimare i consumi, utilizzando un modello di simulazione di veicolo elettrico sviluppato in ambiente Simulink ed appositamente utilizzato.

L'affidabilità del modello è stato prima verificata sulla Nissan Leaf confrontando i dati rilevati su strada con i risultati ottenuti dalla simulazione effettuata sul modello appositamente configurato.

Una volta attestata l'affidabilità, i parametri del modello sono quindi stati adattati alle specifiche costruttive della Mitsubishi i-Miev dichiarate dal costruttore ed il simulatore così messo a punto è stato utilizzato per stimare i consumi di tale veicolo, usando i medesimi profili di velocità-accelerazione istantanei dei 2.000 chilometri della Nissan Leaf.

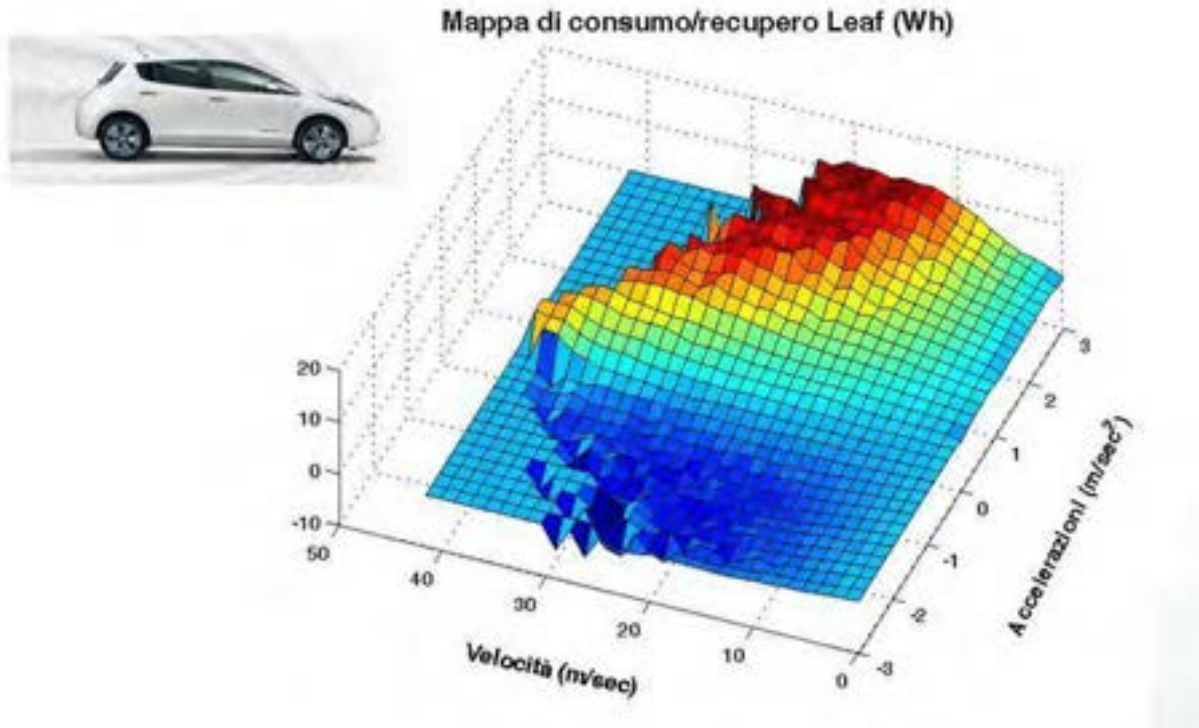


Figura 15 – La mappa dei consumi della Nissan Leaf

Si è inoltre proceduto a verificare che il consumo medio così ottenuto fosse abbastanza in linea con quanto dichiarato dalla casa costruttrice, ottenendo un accordo molto soddisfacente (circa 130 Wh/km in entrambi i casi).

Successivamente, per questi risultati di consumo istantaneo stimato, è stata costruita una mappa tridimensionale dei consumi/recuperi, presentata in Figura 16, analogamente a quanto fatto per la Nissan Leaf e con gli stessi intendimenti di utilizzo sui tragitti (quelli brevi in questo caso, cioè minori di 10 km).

Si può notare anche in questo caso una zona di recupero in blu, corrispondente alle accelerazioni negative.

4.5 Calcolo del consumo energetico ed assegnazione dell'impegno energetico a ciascuna stazione

La disponibilità dei 57.890 tragitti descritti tramite profili di velocità ed accelerazione, la loro organizzazione in gruppi che vanno a gravare su determinate aree cittadine, ed infine la determinazione delle mappe di consumo per i due veicoli elettrici ipotizzati, rendono possibile la mappatura energetica dell'area urbana di Roma entro il GRA. I tragitti sono stati suddivisi in due gruppi, in base alla lunghezza del percorso: i consumi energetici dei tragitti con percorrenze uguali o superiori a 10 km sono stati valutati con riferimento ai consumi della Leaf, mentre per le percorrenze più basse sono stati utilizzati i dati relativi alla i-Miev.

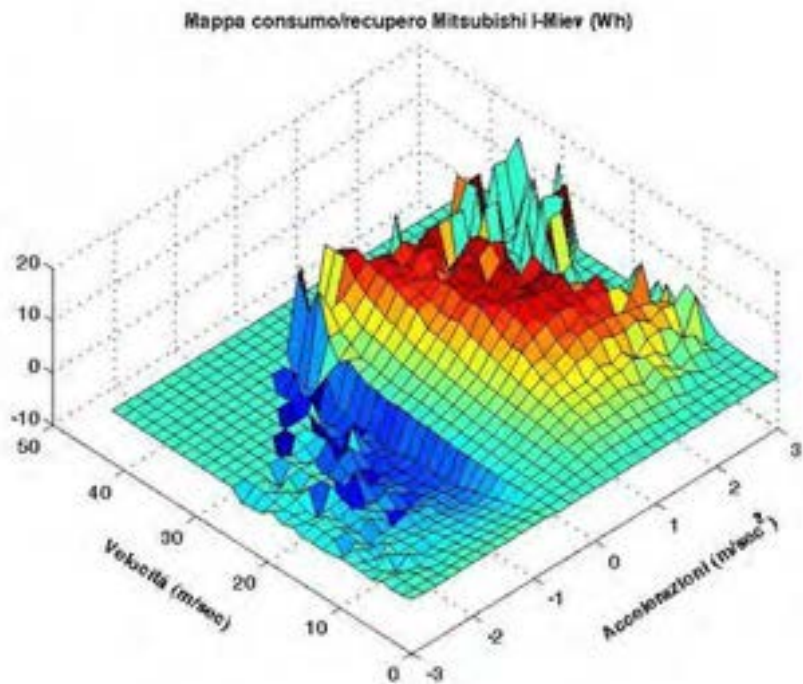


Figura 16 – La mappa dei consumi per la Mitsubishi i-Miev

La Figura 17 spiega il semplice procedimento di mappatura energetica.

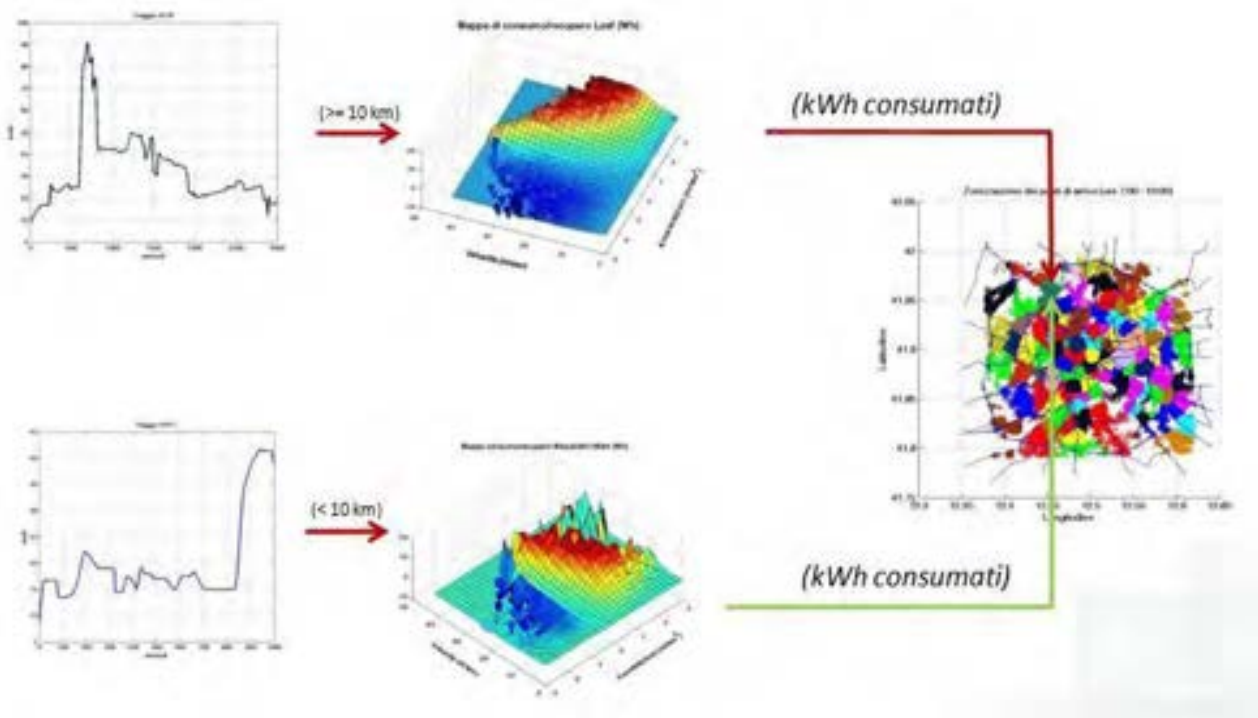


Figura 17 – Procedimento di mappatura energetica

Scelto un gruppo tra i 100 impostati nella fase di cluster analysis, si considerano tutti i tragitti ad esso afferenti; i relativi profili di velocità ed accelerazione vengono trasformati, tramite la mappa di Figura 15 (se

il tragitto è in lunghezza maggiore o uguale a 10 km) o di Figura 16 (se il tragitto è in lunghezza minore di 10 km), in consumi, che vengono totalizzati ed associati al gruppo di appartenenza.

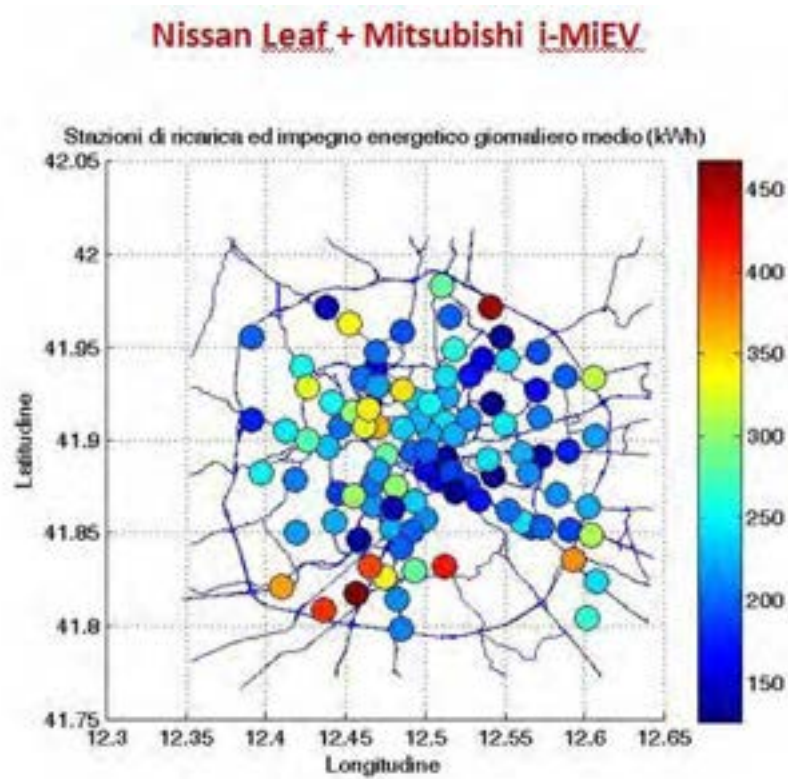


Figura 18 – La mappatura energetica per le 100 aree urbane

Ne deriva il risultato di Figura 18, dove vengono rappresentati i gruppi tramite i loro centroidi, con associata una scala cromatica che posiziona ciascun gruppo all'interno di una scala di impegno energetico giornaliero medio, che va dai 100 kWh ai 500 kWh circa.

Non sembra esistere un pattern ben definito di aree a maggior impegno energetico, quanto una distribuzione abbastanza casuale; la zona sud della città sembra forse avere una quota superiore di impegno energetico.

La Figura 19 presenta infine, con impostazione grafica simile alla figura precedente, una mappatura della frequenza giornaliera media di utenti (cioè del numero medio di veicoli presenti in ciascun gruppo in un giorno), con valori di frequenza che risultano variare dai 50 ai 200 veicoli/giorno circa.

I risultati di questa mappatura sembrano abbastanza sovrapponibili alla precedente, sebbene *entrambi* i parametri (dimensionamento energetico e numero di posti auto con stazione di ricarica) debbano essere tenuti in considerazione nella pianificazione delle strutture.

5 Conclusioni

La disponibilità di un'infrastruttura di ricarica ben ritagliata sulle esigenze dell'utenza è importante ai fini dello sviluppo della mobilità elettrica. Secondo uno studio dalle Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), la disponibilità di punti di ricarica standardizzati risulta un fattore determinante per dare un impulso al mercato delle auto elettriche (PEV/PHEV), e occorre che la ricerca, oltre agli obiettivi di sviluppo tecnologico (quali sistemi di accumulo, di ricarica e di comunicazione tra veicolo e rete), si concentri anche sull'eliminazione di queste che al momento sono barriere infrastrutturali. L'utilizzo nello studio della mobilità di grandi raccolte di dati geo-referenziati, generati in grande quantità (Big Data) da varie sorgenti quali dispositivi mobili (smart-phone, tablet e unità di bordo), siti WEB di social

network e social forum, rende possibile un approccio quantitativo innovativo al problema della creazione di un’infrastruttura di ricarica elettrica, sia per quanto riguarda l’aspetto della collocazione ottimale delle stazioni sul territorio che per ciò che concerne la determinazione della loro taglia energetica e di disponibilità di punti di ricarica.

L’analisi di questi Big Data porta ad una migliore comprensione dei comportamenti e delle abitudini dei viaggiatori, permettendo quindi la costruzione di modelli di simulazione più aderenti alla realtà. Questi, a loro volta, ci consentono di analizzare le prestazioni del trasporto urbano e di cogliere criticità ed opportunità di modernizzazione della viabilità, creando una soluzione di dettaglio più centrata nella sua accettabilità territoriale.

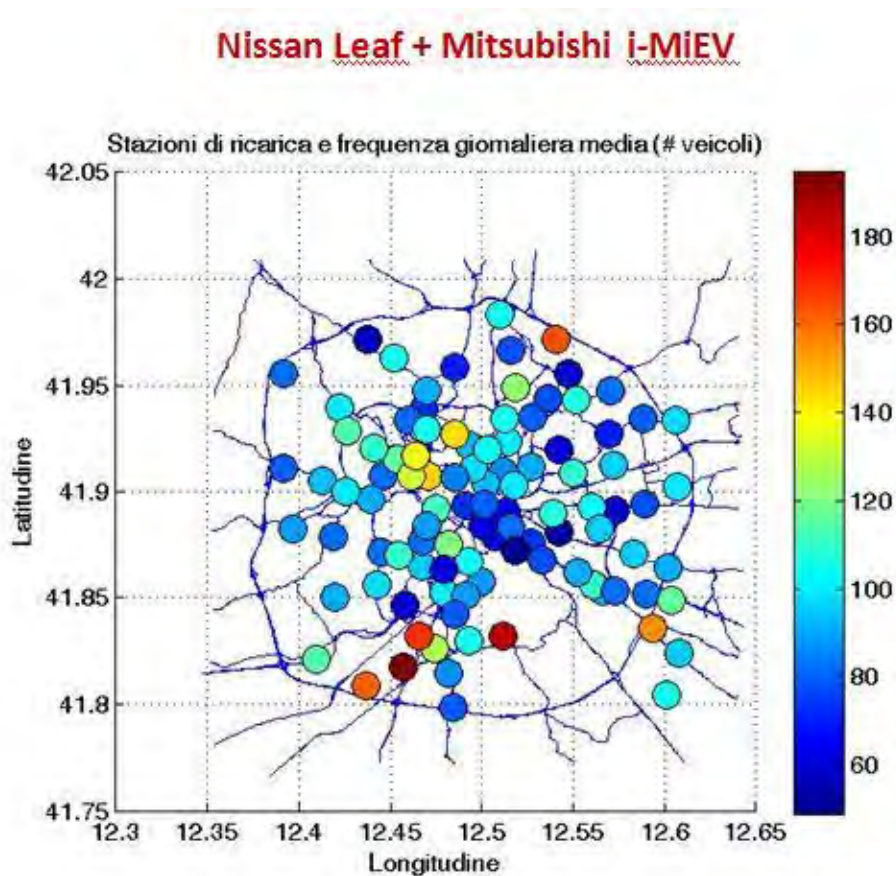


Figura 19 - Mappatura della frequenza giornaliera media

Il focus del presente studio è di sviluppare nuovi strumenti per aumentare l’efficienza e l’affidabilità dei processi decisionali relativi alla pianificazione delle infrastrutture elettriche ed allo sviluppo del trasporto elettrico urbano. In particolare, lo studio si è concentrato sulle infrastrutture di ricarica per le auto elettriche in ambito urbano, in maniera da assicurare su base calcolata il rispetto del vincolo di autonomia dello spostamento mediante una dislocazione ben valutata delle stazioni di ricarica sul territorio urbano.

Lo studio si è basato sull’analisi di una grande quantità di dati raccolti dalla compagnia privata OctoTelematics. I dati riguardano gli spostamenti compiuti dai veicoli e contengono informazioni quali posizione, velocità, tempo, distanza percorsa. In particolare, il set di dati utilizzati riguarda la città metropolitana di Roma e copre 6 giorni lavorativi (lunedì-sabato) del mese di Maggio 2013. Essi rappresentano un dato significativo dell’andamento del traffico urbano, coprendo circa il 6% del parco vetture circolante all’epoca del rilevamento.

L’analisi del database ha permesso di determinare il numero di viaggi effettuati nel periodo di osservazione, le distanze coperte, la distribuzione geografica dei punti di arrivo. I dati sono stati quindi opportunamente filtrati, poiché l’interesse del presente lavoro è focalizzato sullo studio dei viaggi casa-lavoro e degli

spostamenti verso punti di attrazione al fine di individuare i parametri di distribuzione geografica e dimensionamento di potenza e di affluenza per le infrastrutture di ricarica.

Si vuole mettere in evidenza la grande capacità del database OctoTelematics (come anche di altri analoghi) di offrire un'informazione preziosa sul fenomeno "traffico", anche se questa informazione non è disponibile in forma immediata ma va estratta ed organizzata in modo appropriato; i diversi passaggi elaborativi presentati nel lavoro hanno mostrato come processare via via questa informazione "atomica" sino ad arrivare ai risultati voluti tramite un'elaborazione che a parere degli autori mantiene un criterio di razionalità e di accettabilità scientifica.

Il presente studio quindi ha voluto offrire una metodologia per la pianificazione delle strutture di ricarica, tenendo principalmente conto delle esigenze dei consumatori. Questa metodologia rappresenta una prima risposta al problema, che nella realtà risulta essere molto più complesso. Infatti, nel pianificare un'infrastruttura di ricarica per i veicoli elettrici è necessario tenere conto anche dell'interazione di tale infrastruttura con il sistema elettrico territoriale, della effettiva conformazione del territorio, come pure delle politiche nazionali e comunitarie in materia di energia elettrica.

Inoltre, il modello demand-side deve essere necessariamente integrato con modelli di business che garantiscano gli opportuni ritorni economici agli operatori privati, che nel presente contesto devono necessariamente essere coinvolti in una impresa difficilmente sostenibile dal solo intervento pubblico.

Gli ulteriori sviluppi della presente metodologia dovrebbero prevedere l'analisi dettagliata del rapporto tra ciascun cluster ed i punti di attrazione presenti al suo interno, come pure l'utilizzo ottimale di ogni stazione di ricarica elettrica, mediante una configurazione adeguata della sua offerta di punti di ricarica lenti e veloci (in termini di numero di punti di connessione alla rete elettrica, di tipologia, di potenza assegnata a ciascuno di essi, ecc.), in base all'affluenza ed alla richiesta energetica dell'utenza che vi si riferisce, che è stata stimata nel lavoro presente. La configurazione dovrebbe essere parametrizzabile, in modo che possa affrontare bene tutte le possibili variazioni nell'utenza.

Questa integrazione metodologica costituirebbe la tappa di chiusura dell'intero ciclo e aprirebbe le porte ad una capacità di sviluppo progettuale operativo.

6 Riferimenti bibliografici

- 1.. **Amsterdam Roundtables Foundation**, *Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?* The Netherlands : Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company, 2014.
2. <http://www.rinnovabili.it/mobilita/mercato-auto-elettriche-europa-usa-333/>. [Online]
3. <http://elmo.ee/charging-network/>. [Online] <http://elmo.ee/charging-network/>.
4. **De Gennaro M., et al.**, *Analysis and assessment of the electrification of urban road transport based on real-life mobility data*. Barcellona : s.n., 2013. EVS 27.
5. **Mauri, Giuseppe**, *Rapporto di sintesi delle attività del progetto: Mobilità Elettrica*. Ricerta di sistema energetico, 2014.
6. **Lombardo, Gianni**, *Viaggiare in auto elettrica tra ostacoli e barriere cittadine*. 2015, Veicoli elettrici news, p. 19.
7. **Joni Markkula, et al.**, *The business case of electric vehicle quick charging – no more chicken or egg problem*. Barcelona : s.n., 2013. EVS 27.
8. **Hidure, M.**, *Willingness to pay for electric vehicles and their attributes*. 2011, Resource and Energy Economics, p. 686-705.
9. **Van Kerkhov, M. and Boonen, A.**, *Effective public policies for EV-dissemination*. Barcellona : s.n., 2013. EVS 27.
10. **Van den Hoed R., et al.**, *Data analysis on the public charge infrastructure in the city of Amsterdam*. Barcellona : s.n., 2013. EVS 27.
11. **Markel, Tom**, *Plug-in Electric Vehicle Infrastructure: A Foundation for Electrified Transportation*. Cambridge, Massachusetts : s.n., 2010. MIT Energy Initiative Transportation Electrification Symposium.

12. **Kallas, Siim**, *The future of electromobility in Europe*. European Commission. [Online] 18 February 2014. http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-14-606_en.htm.
13. **Sevtsuk A., and Ratti C.**, *Does Urban Mobility Have a Daily Routine? Learning from the Aggregate Data of Mobile Networks*. 2010, *Journal of Urban Technology*, p. Vol. 17, No. 1, 41–60.
14. **Edoardo Croci**, *L'inserimento dell'auto elettrica nel contesto urbano*. IEFE Bocconi, Convegno "Verso l'auto elettrica: prospettive incoraggianti ma anche problemi rilevanti", Milano 2010