



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di un simulatore comportamentale per la valutazione dei livelli di servizio di una struttura di ricarica elettrica di zona

N. Andrenacci, A. Genovese, R. Ragona

SVILUPPO DI UN SIMULATORE COMPORTAMENTALE PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SERVIZIO
DI UNA STRUTTURA DI RICARICA ELETTRICA DI ZONA

N. Andrenacci, A. Genovese, R. Ragona (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: Dimensionamento ottimo territoriale delle infrastrutture di ricarica

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 I DATI OCTOTELEMATICS.....	5
2.1 Floating Car Data.....	5
2.2 Struttura del database.....	6
2.3 Definizione del campione di potenziale utenza di ricariche elettriche.....	10
3 PRESENTAZIONE DELLA LOGICA FUZZY E DEL MODELLO FUZZY.....	13
3.1 Il modello fuzzy per un punteggio di attrattività della stazione di ricarica elettrica.....	14
3.2 Dal punteggio all’assegnazione nel caso di n stazioni di ricarica.....	21
3.3 Dall’assegnazione degli utenti al simulatore per ottenere i profili di affollamento di ciascuna stazione.....	22
4 RISULTATI DEL SIMULATORE SU SCENARI PRECOSTITUITI.....	24
4.1 Primo scenario: stazione no. 1 con 20 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 30 stalli.....	25
4.2 Secondo scenario: stazione no. 1 con 20 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 10 stalli.....	28
4.3 Terzo scenario: stazione no. 1 con 10 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 10 stalli, stazione no. 3 con 20 stalli.....	30
5 CONCLUSIONI.....	32
6 BIBLIOGRAFIA.....	33
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	34

Sommario

Il presente studio, inquadrato nell'accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdSE), si propone di completare lo sviluppo, già avviato con la precedente attività [1], di 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 della definizione delle infrastrutture di ricarica per auto elettriche da localizzare in una *zona urbana specifica*, a fronte della metodologia di scelta sviluppata nel lavoro precedente relativa a *tutta l'area urbana*, sempre tenendo in mente l'impostazione precedente, di tipo demand-side: le soluzioni che verranno proposte partono dall'analisi delle esigenze di una potenziale utenza di auto elettriche, ipotizzabile su un determinato contesto urbano.

Il punto di partenza è stato, come in precedenza, l'acquisizione e l'analisi di una grande quantità di dati sul traffico reale della zona interna al Grande Raccordo Anulare di Roma per definire un campione di utenti potenziali della mobilità elettrica.

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 allo sviluppo di un *simulatore comportamentale*, basato su tecniche afferenti alla logica fuzzy, capace di effettuare decisioni e scelte sul campione di utenti definito tramite i dati OctoTelematics; tale capacità decisionale è stata applicata al campione ed i dati relativi ai guidatori sono stati trattati dal simulatore e distribuiti, ciascuno nel suo tempo di occorrenza e sulla base della logica di *buon senso* insita nel simulatore stesso, sulle varie stazioni locali di ricarica elettrica, stazioni definibili seguendo scenari prestabiliti.

In questo modo si è reso possibile valutare nel tempo i profili di affollamento di ciascuna stazione ed i tempi di attesa di ciascun utente per la ricarica, in altre parole il livello di servizio per la potenziale utenza elettrica; poiché il simulatore è parametrico, si possono variare gli scenari (essenzialmente il numero e la posizione delle stazioni di ricarica) sino ad ottenere livelli di servizio accettabili per l'utenza.

Quindi lo strumento sviluppato è utile nella progettazione della struttura di ricarica locale.

L'attenzione è stata focalizzata esclusivamente sulla *ricarica veloce*, poiché questa è di importanza fondamentale nel contesto urbano.

1 Introduzione

Il veicolo elettrico, sia esso ibrido o a trazione puramente elettrica, risulta ormai essere una tecnologia matura per un'introduzione massiccia nel mercato automobilistico. I vantaggi di una conversione per il sistema di trazione da carburanti fossili all'energia elettrica sono evidenti e riguardano sia aspetti legati alla salvaguardia dell'ambiente, con abbattimento delle emissioni, sia a vantaggi che riguardano il possessore quali un costo più basso del bollo auto e dell'assicurazione, l'accesso alle zone a traffico limitato, minori costi di manutenzione.

Un punto nodale per l'adozione su larga scala delle auto puramente elettriche riguarda la componente "batteria di trazione", che finora aveva presentato dei limiti importanti, in termini di costi, affidabilità ed autonomia garantita, che avevano contribuito a non far decollarne la diffusione. Nonostante i progressi fatti sulla tecnologia di costruzione delle batterie e il conseguente miglioramento delle performance, l'ansia da autonomia rimane uno dei più grandi ostacoli all'acquisto dell'auto elettrica.

Diventa quindi di fondamentale importanza sviluppare una rete di punti di ricarica che possa efficientemente servire la richiesta di ricarica, sia dal punto di vista del cliente, riducendo i tempi di attesa e coprendo il territorio in maniera soddisfacente, che del gestore, evitando di installare colonnine di ricarica che resterebbero poco o nulla utilizzate e rappresenterebbero quindi uno spreco per gli investitori. L'esistenza di tale rete risulta essere di vitale importanza per l'accettazione della mobilità elettrica da parte degli utenti.

Nell'ambito dell'accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdSE), il presente lavoro si prefigge di valutare i profili di affollamento nel tempo di determinate stazioni di ricarica distribuite in una porzione del territorio urbano di Roma ed i tempi di attesa di ciascun utente per la ricarica. Per fare questo si è sviluppato un simulatore comportamentale basato sulla logica fuzzy, ovvero un programma in grado di simulare le scelte degli utenti in base a delle regole assegnate. Al simulatore sono stati dati come input i dati del traffico reale estratti con opportuni filtri dal data base OctoTelematics.

L'approccio del presente lavoro è demand-side e quindi non considera gli aspetti economici relativi alla realizzazione delle infrastrutture. Inoltre, l'attenzione è stata focalizzata esclusivamente sulla *ricarica veloce*, poiché questa è di importanza fondamentale nel contesto delle stazioni di rifornimento.

2 I dati OctoTelematics

2.1 Floating Car Data

Il presente studio si basa sull'analisi di dati che rappresentano l'andamento reale del traffico nella zona di interesse, raccolti utilizzando il metodo dei cosiddetti Floating Car Data (FCD). I FCD sono essenzialmente una collezione di dati geolocalizzati quali velocità, direzione di viaggio e informazioni temporali, rilevati in maniera continua da dispositivi a bordo delle auto, che costituiscono quindi una sorta di rete distribuita di sensori. Questi dati sono una fonte essenziale per l'analisi del flusso veicolare e per il funzionamento dei sistemi di trasporto intelligenti: infatti, oltre a fornire informazioni sullo stato e il livello di congestionamento del traffico, possono essere utilizzati per la realizzazione di servizi di alta qualità per gli utenti, quali segnalazioni in tempo reale dello stato del traffico e determinazione di una via alternativa in caso di blocchi stradali o pesanti rallentamenti.

Rispetto ad altri sistemi di rilevazione del traffico quali telecamere per il traffico, sistemi di riconoscimento della targa, circuiti a induzione posti sull'asfalto stradale, un sistema basato sui FCD non richiede l'installazione di alcun hardware sulla rete stradale, abbattendo quindi i costi di installazione e manutenzione, e non presenta le limitazioni in termini di coperture spaziali tipiche dei sistemi di misura fissi.

Esistono essenzialmente due tipologie principali di FCD: i cosiddetti Cellular Floating Car Data (CFCD), che derivano da informazioni da telefoni cellulari, e i GPS-FCD, in cui l'acquisizione dei dati avviene attraverso unità dedicate per la ricezione GPS. Il principale vantaggio dei CFCD è che non è necessario nessuno

strumento aggiuntivo poiché gli stessi telefoni cellulari vengono usati come sensori: la localizzazione e i movimenti del cellulare sono determinati usando le tecnologie a disposizione della rete di telefonia mobile. Sebbene l'acquisizione della rete mobile sia meno accurata rispetto a quelli della rete GPS, l'enorme numero di telefoni cellulari che sono in uso permette di estrarre dati di buona qualità dalla rete utilizzando complessi algoritmi. La qualità dei dati è più scadente per le strade a scorrimento veloce, ma aumenta in presenza di traffico congestionato e nelle aree metropolitane, quando il numero di cellulari (cioè sonde) è maggiore. Nel caso di GPS-FCD, i veicoli-sonda mandano 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.

I vantaggi di queste imponenti raccolte dati sono molteplici, quali ad esempio:

- 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.

La società OctoTelematics ha sviluppato un sistema FCD per applicazioni di tipo assicurativo, che interessa attualmente più di 2.000.000 veicoli privati in Italia (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/UMTS 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.

Il campione OctoTelematics è accreditato per circa il 6% del parco circolante nell'area urbana di Roma.

Dei dati per l'intera area urbana, abbiamo preso in considerazione uno specifico sottoinsieme, che rappresenta una delle aree identificate nel precedente lavoro come candidate per l'installazione di stazioni di ricarica. Da questo campione, estrapoleremo le tendenze e le abitudini di nostro interesse dei guidatori.

Data l'enorme mole di dati da trattare, per limitare i tempi di calcolo è stato estratto un campione dal nostro database, relativo alla settimana dal 6 all'11 maggio 2013, su cui è stata messa a punto la metodologia proposta; il campione può essere considerato statisticamente significativo (più avanti verrà dichiarata la sua consistenza numerica). Per aumentare la robustezza dei risultati, sarebbe auspicabile uno studio su settimane relative a periodi diversi dell'anno, per evidenziare eventuali stagionalità e per avere una descrizione più esaustiva della popolazione.

Un altro aspetto importante da tenere presente riguarda il fattore di scala del campione: l'ipotesi di lavoro adottata è che l'ipotetica utenza di veicolo elettrico in area romana (attualmente molto bassa) sia rappresentata dal campione OctoTelematics analizzato. Per adattare i risultati alla reale penetrazione delle auto elettriche, dovremo opportunamente riscaldare i risultati ottenuti per questo 6% del parco veicolare rispetto alla percentuale 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 ad un sesto.

2.2 Struttura del database

I dati acquistati dalla compagnia OctoTelematics rappresentano una raccolta di informazioni 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 i mesi di Maggio 2011 e Maggio 2013.

Il database contiene i dati dei viaggi di una numerosa flotta di veicoli privati, che rappresentano circa il 6% del parco vetture circolante in area romana all'epoca del rilevamento, 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 1 sono riportati alcune cifre rappresentative per il database.

In Figura 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 1: Prospetto riassuntivo del data base OctoTelematics

	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.

idterm integer	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

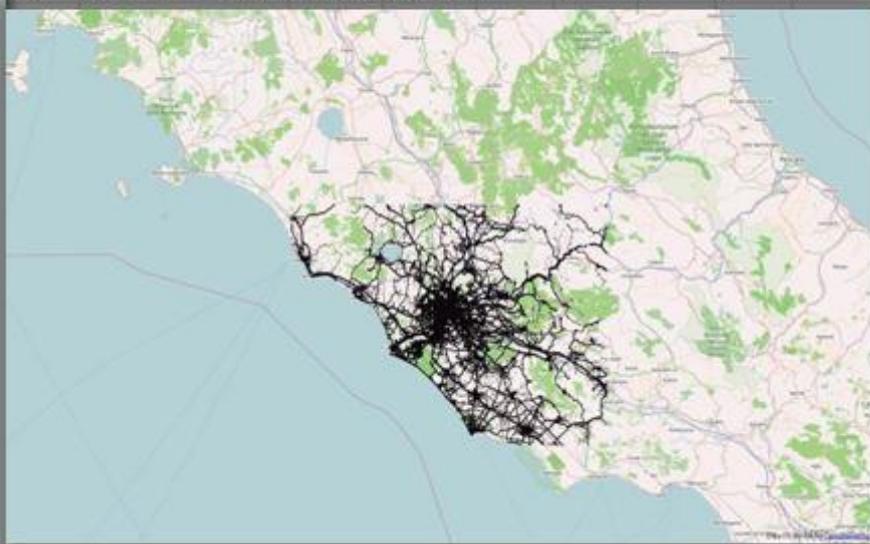


Figura 1 - Il dettaglio della composizione del database OctoTelematics

La figura 1 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.

In essa sono state messe in risalto tutte le tracce registrate dal sistema OctoTelematics nel mese di maggio del 2013, che ricreano quindi nella loro rappresentazione grafica il sistema viario di Roma.

La Figura 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.

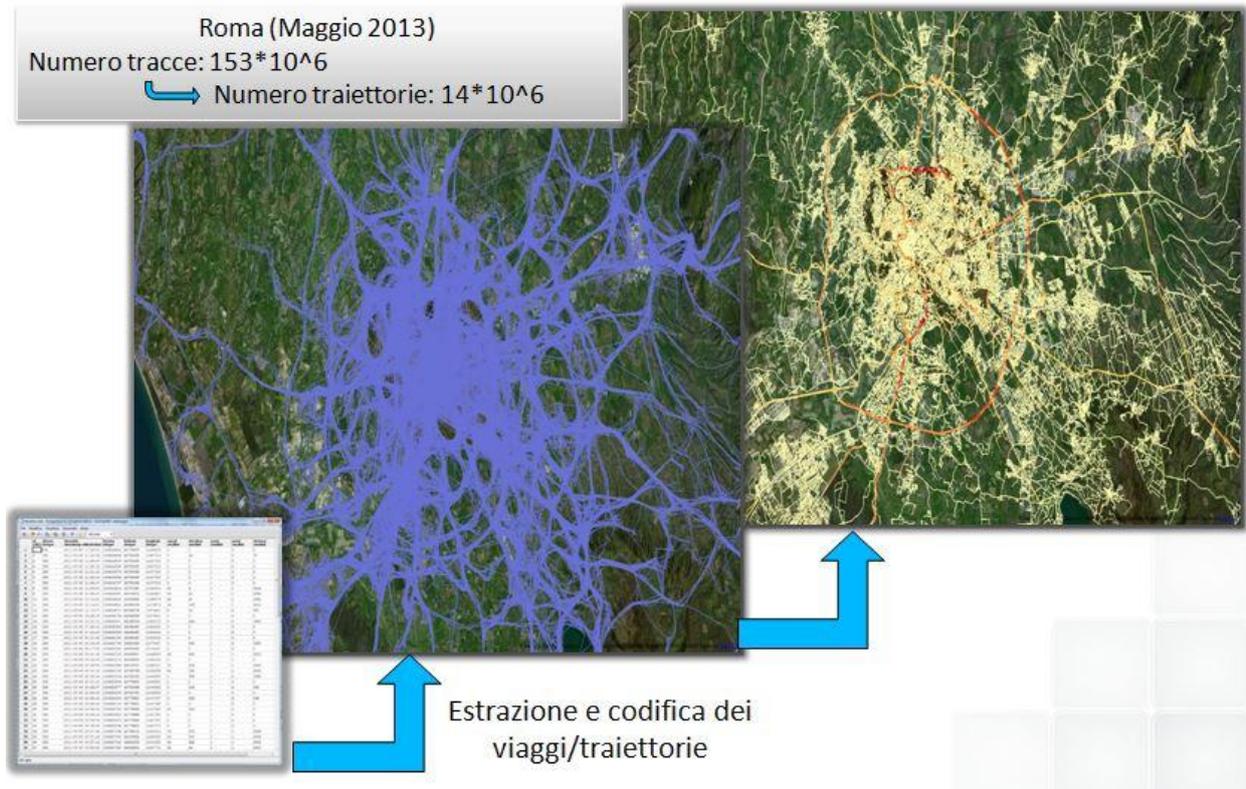


Figura 2 – Una rappresentazione dei dati sulla cartografia di Roma

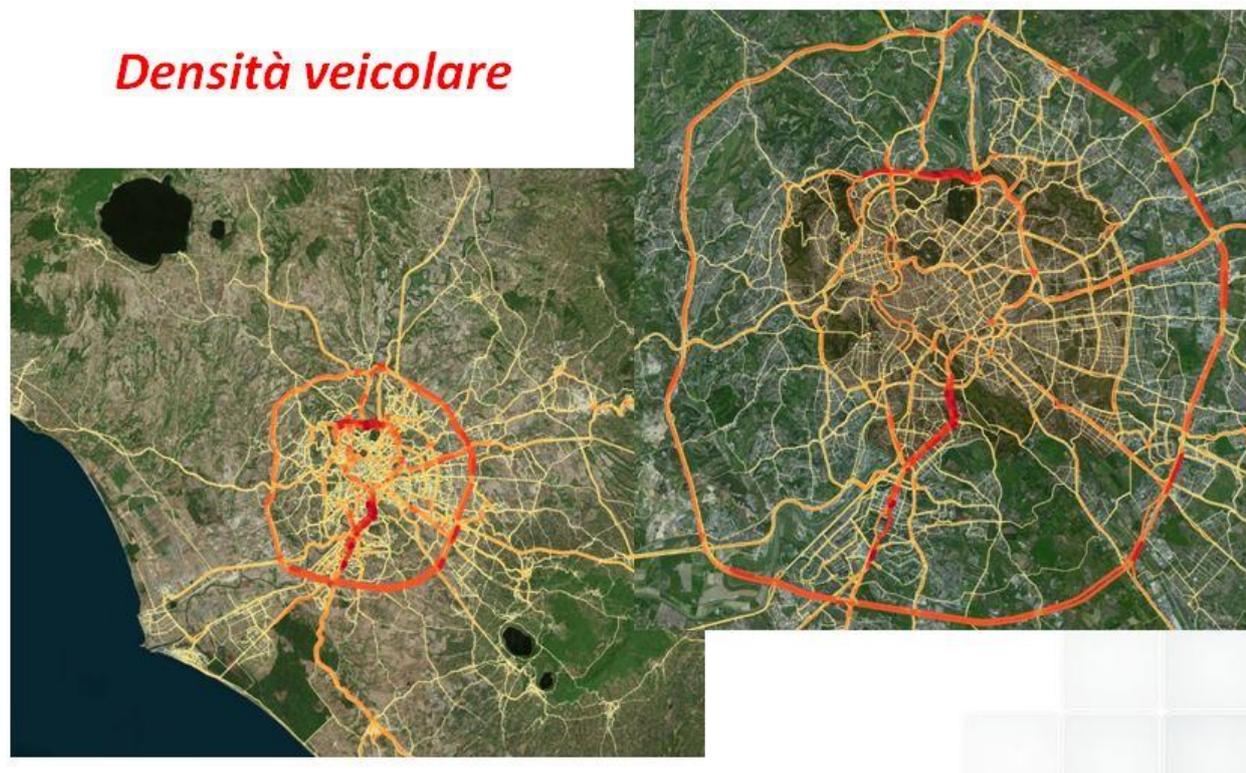


Figura 3 – Le densità veicolari stimate tramite i dati OctoTelematics

2.3 Definizione del campione di potenziale utenza di ricariche elettriche

Nel presente paragrafo mostreremo come abbiamo costruito un campione di potenziali utenti di stazioni di ricarica per veicoli elettrici. L'ipotesi di base è che tutti o parte di questi utenti tradizionali commutino verso la mobilità elettrica. Il punto di partenza è il data base OctoTelematics, che, a differenza del lavoro precedente [1], è stato esplorato e sintetizzato in maniera più mirata.

Più precisamente abbiamo proceduto in quest'ordine:

- 1) abbiamo scelto una zona di studio sulla base della precedente analisi di clusterizzazione dell'area urbana romana per la localizzazione di infrastrutture di ricarica. In particolare, è stata scelta una zona con un massiccio afflusso giornaliero di utenti ricadente in un rettangolo delimitato dalle coordinate geografiche comprese nell'intervallo (41.835469, 41.801724) di latitudine e (12.425882, 12.468242) di longitudine (si veda la fig. 4, in cui i vertici della zona interessata sono mostrati tramite segnaposti verdi con accanto le sigle UL, UR, LL, LR);
- 2) abbiamo identificato tutti gli utenti che hanno effettuato una sosta in quest'area nella settimana 6-12 maggio 2013;
- 3) tra questi utenti abbiamo scelto quelli che avevano già effettuato un percorso, partendo da qualunque posizione dell'area romana, compreso tra i 50 km ed i 140 km, anche al di fuori della finestra temporale e spaziale presa in considerazione. Per essere più chiari, sono state considerate tutte le situazioni di sosta con partenze o attraversamenti anche esterni alla zona di studio e con date anche precedenti alla settimana considerata: il criterio fondamentale di ricerca è stato quello di individuare gli utenti che avevano effettuato durante la settimana scelta una sosta nell'area di studio dopo un percorso compreso nel range (50 km - 140 km) iniziato anche in momenti o giorni antecedenti;

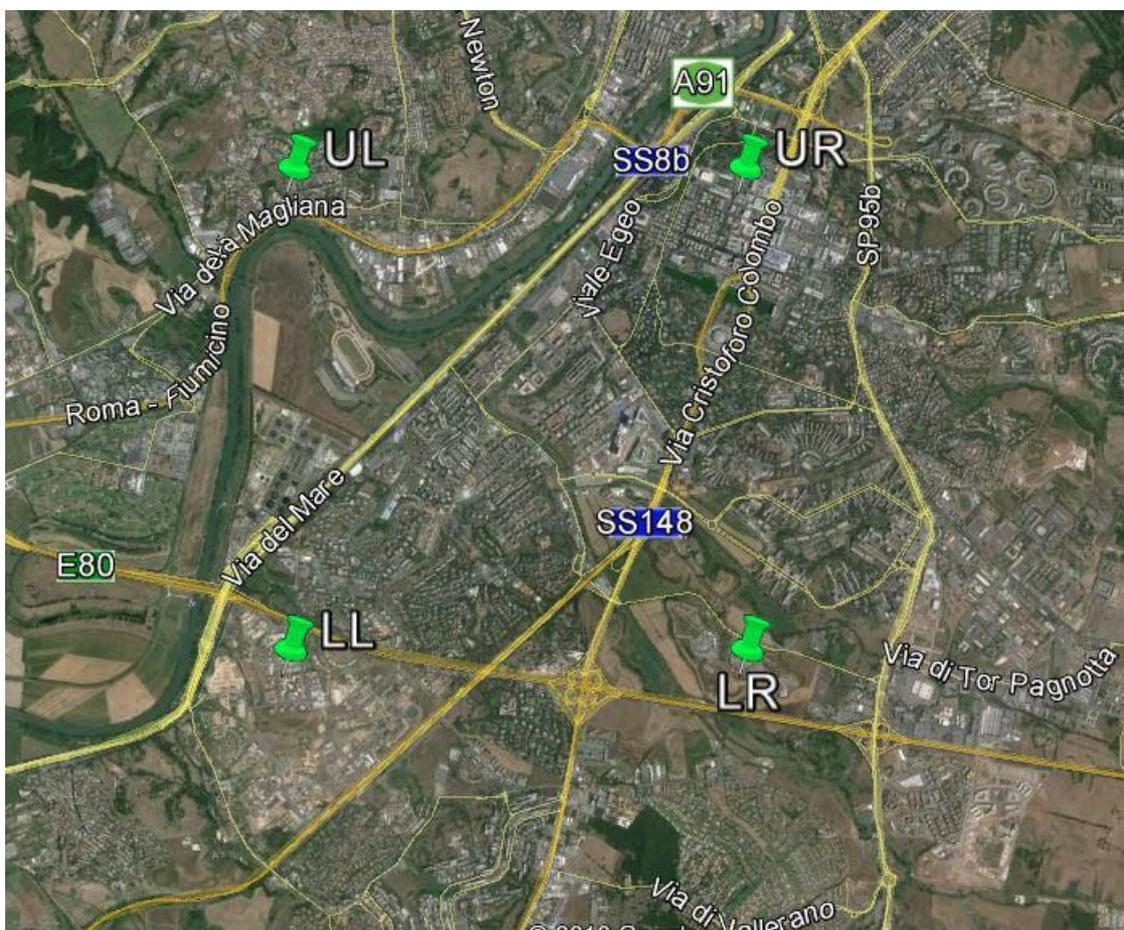


Fig. 4 – La zona interessata alla nostra analisi

- 4) un guidatore di cui fosse già stata analizzata la storia precedente alla sosta nella zona di interesse, poteva essere preso nuovamente in considerazione se durante la settimana aveva percorso nuovamente un tragitto compreso nel range (50 km – 140 km).

L'identificazione del campione è stata effettuata applicando i seguenti criteri:

1. Sono stati estratti i dati del mese di Maggio 2013 per la zona di interesse selezionata, per un totale di poco più di 3 milioni di record;
2. I dati del punto 1 sono stati elaborati per ottenere l'elenco delle soste effettuate nella zona e dei relativi guidatori;
3. Sono state estratte tutte le traiettorie dei guidatori selezionati relative all'intero mese nella intera area urbana di Roma;
4. Sono state ricostruite le traiettorie e i relativi km percorsi per i guidatori selezionati;
5. È stato applicato il filtro temporale che selezionava le sole soste relative alla settimana in esame, per un totale di circa 34.000 record;
6. Sono state considerate solo le situazioni con percorrenze comprese nel già definito range.

Il risultato definitivo di questa operazione sul data base OctoTelematics riporta una selezione con 5.529 eventi di sosta, un estratto della quale viene presentato in fig. 5.

Guidatore	Tempo	Latitudine	Longitudine	Percorso
1042777	1367838109	41812775	12430296	50311
1022691	1367838220	41808841	12445191	56410
650041	1367839360	41816136	12459545	57485
1123228	1367839629	41816920	12467948	55218
1761495	1367840197	41833539	12462881	78800
216659	1367841057	41807760	12442673	51396
261741	1367842606	41817371	12462028	66826
829012	1367844819	41818466	12439362	51760
293406	1367845281	41821994	12439568	65749
1131967	1367845924	41830444	12457401	50239
290522	1367846042	41809635	12442448	56866
994665	1367846176	41806842	12457011	70383
1282363	1367846999	41809414	12430305	57697
355805	1367847212	41815665	12457754	66212
1069163	1367847452	41831519	12467646	129987
1094186	1367847699	41817008	12458109	62287
818222	1367847867	41832064	12466148	55640
1758048	1367847894	41808714	12445357	53092
1050771	1367848244	41833274	12466646	53155
1747927	1367848970	41833638	12464540	52881
1597520	1367849269	41831143	12467949	54967
1583649	1367849349	41810550	12431750	70297

Fig. 5 – Un estratto della selezione del campione dei potenziali utenti di ricarica

In fig. 5, si possono vedere 5 colonne che riportano nell'ordine: il codice del guidatore, il tempo di sosta secondo la codifica UNIX, la latitudine e la longitudine (entrambe moltiplicate per 10^6), ed infine la percorrenza (in metri) effettuata sino al momento di sosta.

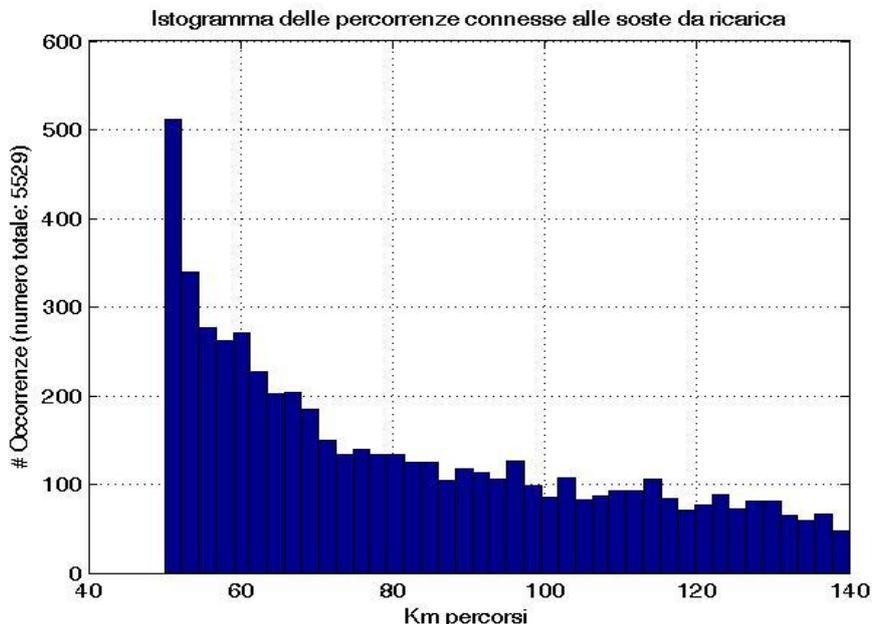


Fig. 6 – Istogramma degli eventi con percorrenza compresa nel range (50 km – 140 km)

La fig. 6 mostra l'istogramma del nostro campione in termini numerosità vs. percorrenze; come si può notare, le maggiori frequenze degli eventi di sosta si hanno per percorrenze precedenti la sosta minori di 70 km. La fig. 7 presenta infine gli eventi di sosta riferiti geograficamente all'area di studio.

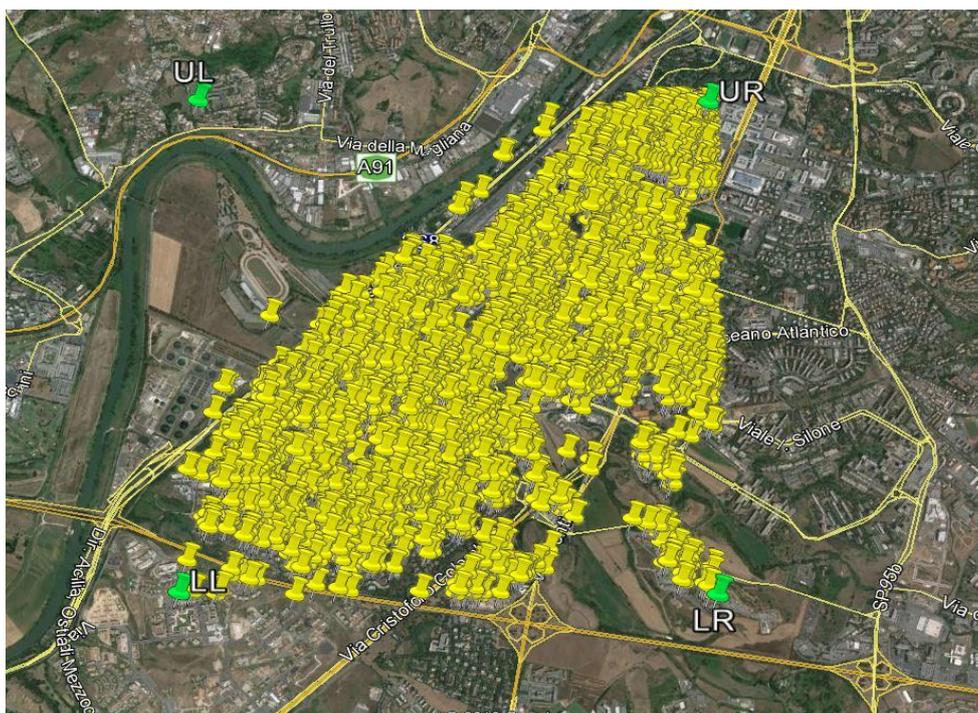


Fig. 7 – Rappresentazione dei 5.529 eventi di sosta nell'area di studio

3 Presentazione della logica fuzzy e del modello fuzzy

Negli ultimi anni, il numero e la varietà delle applicazioni della logica fuzzy sono aumentati significativamente. Le applicazioni spaziano dai prodotti di largo consumo tipo videocamere, lavatrici, forni a microonde a quelle che riguardano i processi di controllo industriale, la strumentazione biomedica, i sistemi di supporto alle decisioni.

La logica fuzzy è stata introdotta nelle sue linee fondamentali nel 1965 da Lofti A. Zadeh [2], basandola sulla sua teoria degli insiemi fuzzy, ed è stata poi formalizzata e sistematizzata in maniera definitiva nel 1973 [3]. Fondamentale nella logica fuzzy è il ricorso, in opposizione alla normale logica binaria a due valori (no/sì oppure 0/1), ad una logica multi-valore (multivalued logic), espressa mediante una "membership function" (MF) che denota la plausibilità o la "forza" di appartenenza del set ad una proprietà fissata. La MF può assumere qualsiasi valore nell'intervallo 0 e 1, estremi compresi.

La teoria degli insiemi fuzzy, assieme alle nuove operazioni logiche costruite su di essi, e ad un insieme di regole di tipo *if-then* opportunamente definite, sono gli ingredienti che costituiscono un sistema logico fuzzy (Fuzzy Logic System, FLS), il quale crea una corrispondenza funzionale tra un dato insieme (anche vettoriale) $x \in R^n$ di input ed un insieme (nel caso generale scalare) y di output (si veda fig. 8); tale corrispondenza funzionale viene sintetizzata tramite una serie di regole linguistiche, espresse in forma condizionale, che hanno per oggetto le variabili linguistiche ed i loro valori linguistici.

I margini di manovra degli FLS sono tali che esiste un numero grande di gradi di libertà che portano a molte possibili corrispondenze funzionali tra ingressi ed uscite.

La necessità di definire assegnate corrispondenze funzionali tra insiemi di input e di output è fondamentale nei sistemi ingegneristici: tali corrispondenze prescrivono come si deve comportare un sistema fisico, biologico, finanziario etc., quando venga sollecitato da stimoli esterni, e quindi delinea il compito fondamentale di figure professionali quali il progettista del controllo o il modellista.

Il progettista del controllo, assegnati i *soli ingressi*, deve definire una "scatola funzionale" che a partire da essi produca le uscite (i set points) che il sistema deve raggiungere; il modellista, assegnati *ingressi ed uscite*, deve definire una scatola funzionale capace di giustificare e riprodurre al meglio i due insiemi.

Questa scatola funzionale può essere realizzata, tanto per fare qualche nome, oltre che con i sistemi FLS, tramite i sistemi lineari, i sistemi esperti, le reti neurali, i sistemi di equazioni differenziali, le tabelle di lookup, etc.; secondo Zadeh, la logica fuzzy è un mezzo conveniente in quasi tutte le situazioni, e rappresenta una codifica del senso comune.

Ecco una lista di proprietà generali dei FLS:

- sono concettualmente facili da comprendere, essendo i concetti matematici dietro il ragionamento fuzzy alquanto semplici;
- sono flessibili e capaci di gestire situazioni con dati imprecisi, come succede nella maggior parte delle situazioni reali;
- riescono a modellare funzioni non lineari di arbitraria complessità (sono *approssimatori universali* [4]);
- riescono ad integrare la conoscenza degli esperti umani;
- possono essere combinati con altre tecniche di controllo;
- sono basati sul linguaggio naturale, potendo includere anche strutture di descrizione qualitativa.

L'ultima osservazione è forse la più importante, perché il linguaggio naturale è usato da tutti e quindi il suo utilizzo rappresenta una modalità di descrizione efficiente.

La fig. 8 rappresenta lo schema di principio largamente usato per un FLS.

Un FLS produce una corrispondenza funzionale tra un insieme di variabili di ingresso definibili in maniera ingegneristica, non fuzzy, (crisp inputs) ed un'uscita anch'essa descritta in maniera ingegneristica, non fuzzy (crisp output).

Esso contiene quattro componenti: un sistema di regole (Rules), un fuzzificatore (Fuzzifier), un motore inferenziale (Inference Engine) ed un defuzzificatore (Defuzzifier).

Una volta che il sistema di regole è stato stabilito, un FLS può essere visto come una corrispondenza funzionale tra le variabili "crisp inputs x " e la variabile "crisp output y ": $y = f(x)$.

Le regole possono essere fornite da un esperto oppure estratte da insiemi di dati numerici.

In ogni caso, esse sono espresse come una collezione di istruzioni *if-then*, ad esempio “se il cibo è buono oppure il servizio è eccellente, allora la mancia è elevata”. Come si può notare, ci sono dei termini linguistici che possono essere declinati su più valori (*scadente, mediocre, buono, eccellente*), delle connessioni logiche tra le variabili linguistiche (*oppure*), e delle implicazioni logiche (*allora*).

Il fuzzificatore mappa gli insiemi numerici esterni “crisp” x su insiemi fuzzy interni all’FLS. Esso è necessario per attivare le regole fuzzy che sono espresse in termini linguistici e che hanno degli insiemi fuzzy associati. Il motore inferenziale degli FLS mappa insiemi fuzzy su insiemi fuzzy, tutti interni all’FLS, gestendo la combinazione delle regole.

Alla fine di tutto c’è il defuzzificatore: esso è deputato a trasformare gli insiemi fuzzy finali interni in insiemi numerici esterni “crisp” y , poiché alla fine di tutto serve un’azione concreta, ad esempio il valore di una variabile ingegneristica per azionare opportunamente un attuatore.

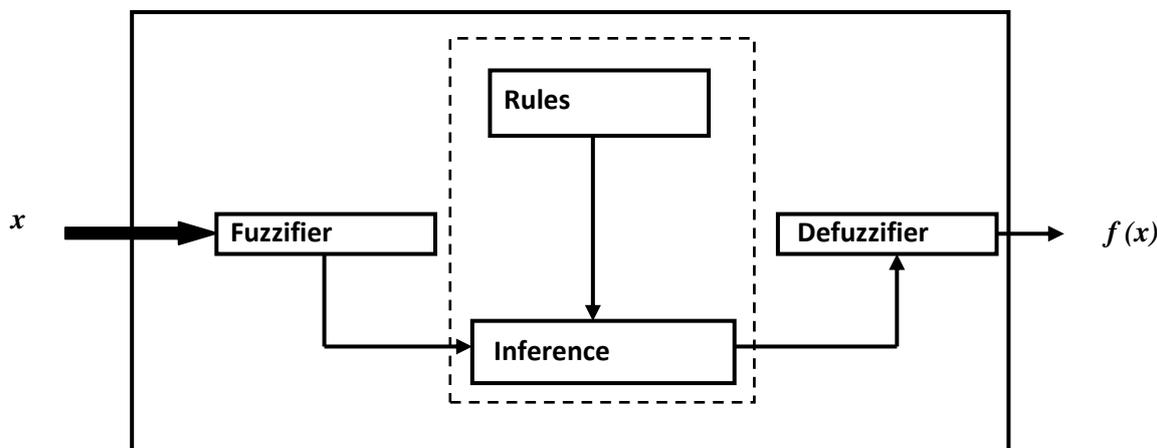


Fig. 8 – Schema generale di un sistema a logica fuzzy (FLS)

I sistemi basati sulla logica fuzzy possono essere assimilati nella loro sezione interna (si veda la parte tratteggiata di fig. 8) a sistemi esperti, in quanto condividono la conformazione strutturale e la sequenza logica di azione di questi ultimi.

Due tra gli elementi più caratteristici dei sistemi esperti sono presenti negli FLS, e cioè:

- la base di conoscenza, o sistema delle regole, fornite dal progettista, da un esperto del problema oppure estratte da insiemi di dati numerici;
- un motore inferenziale, dotato di capacità deduttive tali da produrre in maniera razionale risultati conseguenti dai dati del problema, dotato inoltre dell’abilità di affrontare anche situazioni non previste dal programmatore, in quanto capace di estrapolare dalle situazioni note risultati relativi a situazioni non esplicitamente considerate nella sua dotazione informativa.

3.1 Il modello fuzzy per un punteggio di attrattività della stazione di ricarica elettrica

Nel presente paragrafo presentiamo le linee di sviluppo del modello fuzzy deputato a produrre un indice di attrattività da parte di un utente verso una specifica stazione di ricarica; in altre parole vogliamo tentare di produrre, tramite il senso comune ed in maniera codificata con logica fuzzy, la risposta “obiettiva” di un utente di vettura elettrica allorché gli venga posta la domanda: che punteggio di attrattività assegneresti a questa stazione di ricarica nella tua situazione attuale?

Il punteggio lo supponiamo espresso in un range normalizzato tra il valore zero e dieci, dove zero rappresenta il valore più basso di attrattività e dieci il più alto.

Per giudizio o risposta obiettiva intendiamo un giudizio legato solo a questioni di convenienza operativa, non polarizzato ad esempio da fatti tipo simpatia verso il gestore, aspetti abitudinari, etc.

In altre parole, il modello fuzzy che vogliamo proporre è un simulatore di giudizio umano obiettivo.

Il modello è stato sviluppato in ambiente Matlab, più precisamente nel pacchetto dedicato alla logica fuzzy; ci conformeremo quindi agli standard ed alle produzioni grafiche Matlab.

Gli aspetti che dobbiamo definire sono: set di variabili di ingresso, set di regole, aspetti “tecnici” legati alla procedura fuzzy (ad esempio, scelta delle membership functions).

A) Set di variabili di ingresso (o di supporto alla formazione del punteggio)

A nostro parere, le variabili di supporto più significative sono tre (si veda fig. 9):



Fig. 9 – Variabili ingresso/uscita per il modello di formazione del punteggio

- 1) *L'autonomia residua*. Si è già detto a proposito della selezione degli utenti nella zona interessata che la scelta in ogni caso interessava utenti con alle spalle una storia di percorrenza già effettuata compresa tra 50 e 140 km. Il limite basso dei 50 km. deriva dalle note considerazioni di ansia di ricarica, il limite più alto rappresenta una reale esigenza immediata di ricarica, tenuto conto delle attuali prestazioni delle batterie elettriche e della loro componente aleatoria.

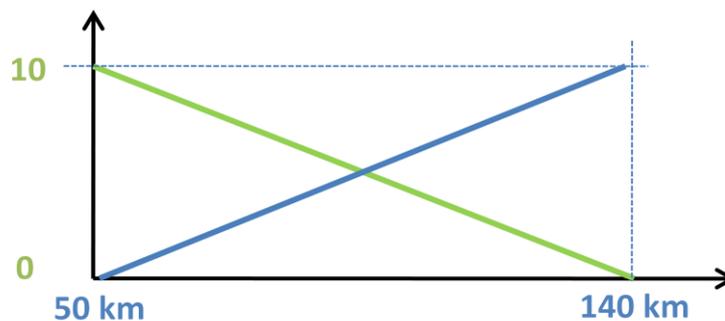


Fig. 10 – Profilo normalizzato per la variabile *autonomia residua* (linea verde; la linea blu è il suo complemento a 10)

L’assunzione che noi facciamo è che chi ha una storia di percorrenza già effettuata entro i limiti chilometrici fissati è ormai orientato verso una operazione di ricarica, tanto più quanto maggiore è la percorrenza stessa; quindi supponiamo che *tutti* gli utenti selezionati siano disponibili e pronti alla ricarica, con gradazioni variabili dal “faccio la ricarica ma ho poca urgenza” (chi ha 50 km. di percorrenza o poco più) al “faccio la ricarica ed ho molta urgenza” (chi è molto vicino ai 140 km di percorrenza).

E’ d’uso normalizzare anche le variabili d’ingresso, per cui il range della variabile *autonomia residua* viene riportato all’intervallo 0 -:- 10 (fig. 10, linea verde), con dipendenza lineare rispetto alla percorrenza già effettuata: ad esempio, chi ha già percorso 50 km. ottiene un valore o peso 10 nella variabile in esame, il punteggio 10 essendo in questo caso premiante (più avanti vedremo come la logica fuzzy tenga conto di questa impostazione).

Si potrebbero immaginare altre forme di dipendenza, anche non lineari, ma non abbiamo trovato ragioni particolari per penalizzare o premiare alcune zone del range a discapito delle altre.

2) *Il Tempo di Attesa o Tempo di Coda.* Intendiamo con questa variabile il tempo necessario per potersi effettivamente collegare alla presa di potenza. Se la stazione di ricarica ha al momento del bisogno un qualche grado di affollamento, è chiaro che bisognerà aspettare il tempo necessario al disimpegno di qualche presa elettrica di potenza o punto di ricarica, tanto più quanto è più alto l'affollamento. E' ipotizzabile, vista la attuale diffusione della tecnologia dell'informazione in tempo reale, che la conoscenza del tempo di attesa possa essere fornita in tempo reale dal sito della stazione di servizio, quando venga interrogato preliminarmente dall'utente, e quindi possa essere accessibile *prima* dell'erogazione del servizio, concorrendo quindi a formare la decisione dell'utente riguardo alla scelta del punto di ricarica.

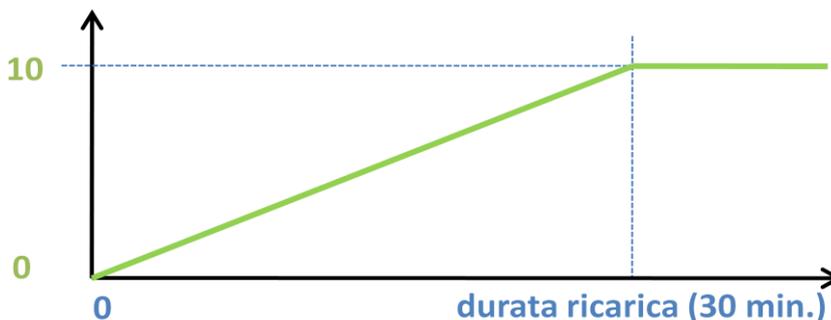


Fig. 11 – Profilo normalizzato per la variabile *tempo di attesa o di coda*

Il tempo totale di ricarica si ottiene come somma del tempo di ricarica veloce (normalmente assunto a 30 minuti) e del tempo di attesa o coda affinché si renda disponibile una presa elettrica:

$$\text{tempo totale di ricarica} = \text{tempo di ricarica veloce delle batterie} + \text{tempo di attesa}$$

Nelle situazioni più felici (presa elettrica immediatamente disponibile), il tempo di attesa è nullo.

In fig. 11 viene presentato il profilo normalizzato tra zero e dieci per la variabile *tempo di attesa*.

Come si può notare, il profilo cresce linearmente fino al valore di 30 minuti (durata della ricarica delle batterie), per poi assestarsi su un flesso orizzontale; in altre parole, abbiamo scelto di pesare ugualmente col valore 10 tutti i tempi di attesa maggiori o uguali a 30 minuti, il punteggio 10 essendo in questo caso penalizzante.

3) *Distanza attuale dell'utente dalla stazione di ricarica.* Tale variabile rappresenta la distanza tra la posizione attuale di sosta dell'utente che vuole ricaricare e la stazione di ricarica presa in considerazione. Abbiamo semplificato la valutazione di questa variabile, considerando la distanza in *linea d'aria*; è possibile determinare la distanza *stradale*, ma questo comporta la considerazione della rete stradale della zona, il calcolo per ognuno dei 5.529 utenti del nostro campione del cammino minimo tra due punti etc., cioè un aggravio di calcolo sostenibile ma non piccolo.

La fig. 12 presenta il profilo normalizzato al solito tra zero e dieci di questa variabile; in questo caso possiamo facilmente normalizzare rispetto ad un valore massimo di distanza, perché, come abbiamo visto nel capitolo 1, stiamo considerando una regione urbana rettangolare: quindi possiamo assumere la diagonale di tale regione come la massima distanza che si può presentare nella nostra situazione.

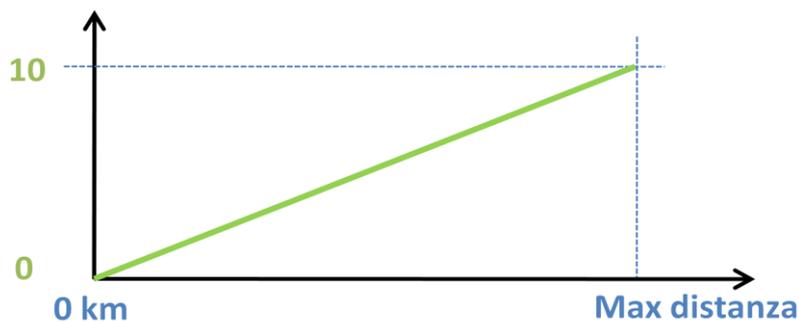


Fig. 12 – Profilo normalizzato per la variabile *distanza dalla stazione di ricarica*

Come si può notare dalla fig. 12, il profilo normalizzato cresce linearmente fino alla massima distanza (diagonale), dove si attesta al valore 10, valore in questo caso penalizzante.

Potrebbero essere prese in considerazione altre variabili che influenzano la formazione del punteggio di attrattività.

Una tra queste potrebbe essere il *costo del kWh elettrico* praticato dal gestore della stazione di ricarica; ma nel caso della ricarica elettrica, essendoci una previsione di spesa di circa 6 Euro per una ricarica veloce all'80% della capacità delle batterie, non si possono formare delle differenze significative di spesa quando si considerino i pochi centesimi di Euro delle eventuali differenze di costo del kWh praticate dai vari gestori. Quindi tale variabile a nostro giudizio è poco motivante.

B) Set di regole, membership functions (MF)

Lo sviluppo del modello fuzzy prevede a questo punto la definizione del set di regole che agiscono sulle variabili linguistiche e la scelta delle MF.

Mentre le regole devono in qualche modo rappresentare e riprodurre la logica insita nel sistema che si vuole progettare, le MF sono dei filtri di forma arbitraria applicati alle variabili implicate nelle regole, tali da realizzare effetti di scelta pesata per orientare i risultati.

Non esistono metodi univoci di scelta delle MF: esistono delle famiglie funzionali raccomandate (triangolari, trapezoidali, gaussiane, etc.), ma tutto è lasciato al progettista ed alla sua intenzione di "dirigere" il sistema fuzzy verso i risultati desiderati.

Se questa situazione crea spazio per avere molti gradi di libertà, allo stesso tempo tale spazio può generare momenti di indecisione nello sviluppo del sistema, perché non si è mai sicuri di aver fatto la scelta migliore in assoluto.

Quindi lo sviluppo del sistema fuzzy procede con una storia anche lunga di prova-e-riprova, fino ad ottenere risultati soddisfacenti.

Nel nostro caso lo sviluppo si è posizionato sul seguente *insieme di regole*:

- 1) *If Autonomia = MF1_{Au} and Distanza = MF1_{Dis} then Punteggio_stazione = MF1_{St}*
- 2) *If Autonomia = MF2_{Au} and Attesa = MF2_{At} then Punteggio_stazione = MF2_{St}*
- 3) *If Autonomia = MF3_{Au} and Distanza = MF3_{Dis} and Attesa = MF3_{At} then Punteggio_stazione = MF3_{St}*

Tale insieme di regole sono "adagiate" sulle MF riportate in fig. 13; in tale figura le regole si "leggono" orizzontalmente (infatti sono riportati i numeri 1, 2 e 3 associati a ciascuna regola) e le MF scelte da noi sono riportate all'interno di ciascun riquadro.

Ad esempio la variabile *autonomia residua* ha tre profili di MF, essendo la variabile presente in tutte le tre regole; all'incrocio tra la colonna "Autonomia" e la riga "1" troviamo MF1_{Au}.

Come si può notare, mancano MF1_{At} ed MF2_{Dis}, poiché le relative regole 1 e 2 non contengono rispettivamente le variabili *attesa* e *distanza* su cui dovrebbero agire le MF.

La regola di aggregazione è di tipo MAX, mentre quella di defuzzificazione è di tipo SOM (si veda il lato destro di fig. 13).

Non essendo questo rapporto il luogo per spiegare in dettaglio i sistemi fuzzy, ci limitiamo a questi elementi descrittivi e rimandiamo alle pubblicazioni specializzate, ad esempio anche allo stesso manuale del toolbox Fuzzy di Matlab [5].

La definizione delle regole e delle MF, per come sono state presentate in precedenza, ha comportato una lunga ricerca ed una serie di tentativi di focalizzazione del sistema fuzzy verso i risultati voluti.

L'accettazione del sistema ottenuto alla fine dei tentativi è stata subordinata alla dettagliata analisi della corrispondenza funzionale ingressi/uscita, e presenteremo subito il dettaglio di questa corrispondenza funzionale.

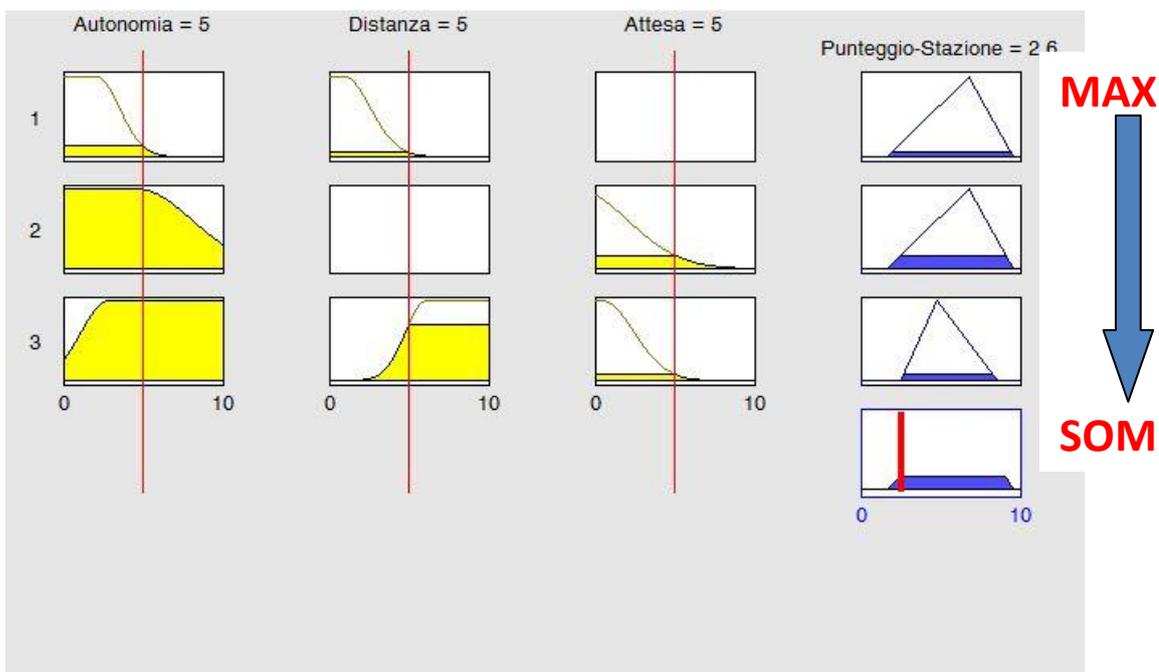


Fig. 13 – Le membership functions per il sistema fuzzy

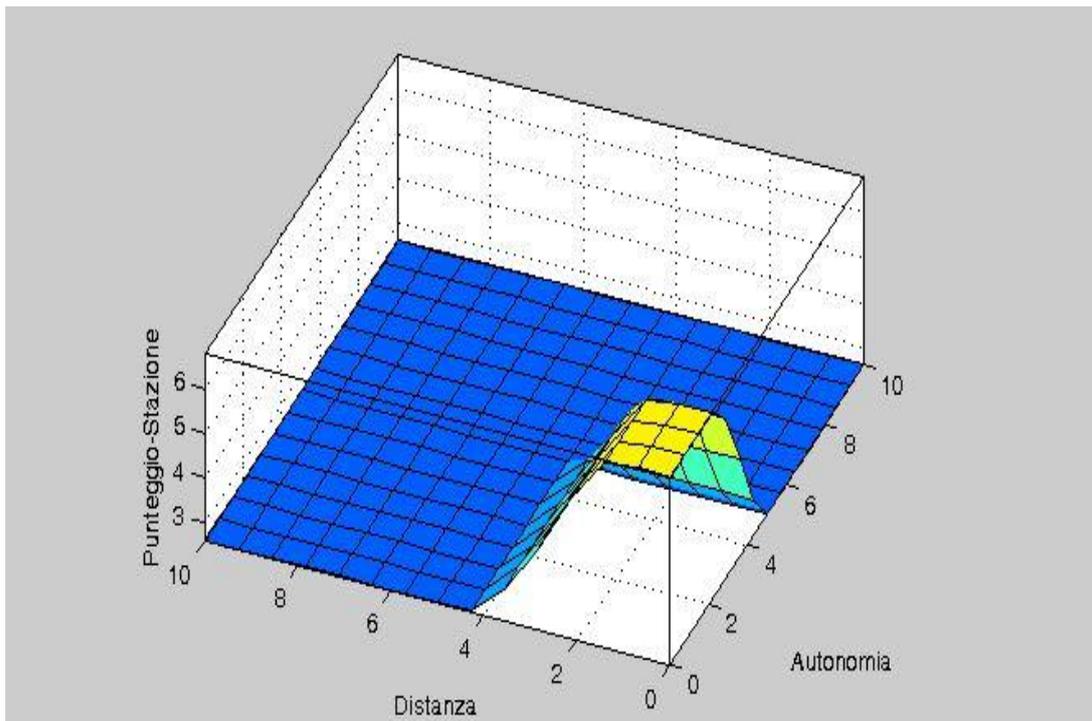


Fig. 14 – La corrispondenza (*autonomia residua, distanza*) → *punteggio*

C) L'analisi del modello fuzzy

Poiché siamo in uno spazio a 4 dimensioni (3 ingressi + 1 uscita), siamo costretti a fare delle rappresentazioni parziali nello spazio a 3 dimensioni, tralasciando di volta in volta una variabile di ingresso, che viene impostata al valore intermedio di 5.

La rappresentazione parziale quindi non è completa, venendo sottaciuta di volta in volta una variabile significativa.

L'ambiente Matlab ha una capacità di rappresentazione *puntuale* del risultato di punteggio (il cosiddetto Rule Viewer, del tipo di fig. 13), per cui per il tramite di essa si possono analizzare con precisione tutte le situazioni puntuali volute.

Nonostante questo limite, la rappresentazione complessiva a dimensioni ridotte fornisce una utile visione di sintesi.

1) Corrispondenza funzionale (*autonomia residua, distanza*) → *punteggio* (si veda fig. 14)

Dalla figura si può vedere una corrispondenza abbastanza complessa, anche in presenza di un insieme di regole contenuto (3 regole). Questo è un risultato tipico dei sistemi fuzzy.

La fig. 14 si legge nel seguente modo: quando la distanza dalla stazione di ricarica tende ad essere piccola (≤ 4 nel suo range normalizzato) e contemporaneamente l'autonomia residua tende ad essere piccola (≤ 5 nel suo range normalizzato), il punteggio assegnato è alto (punteggio tendente al valore 6.8). Altrimenti il punteggio assegnato è basso (punteggio attorno a 2.2).

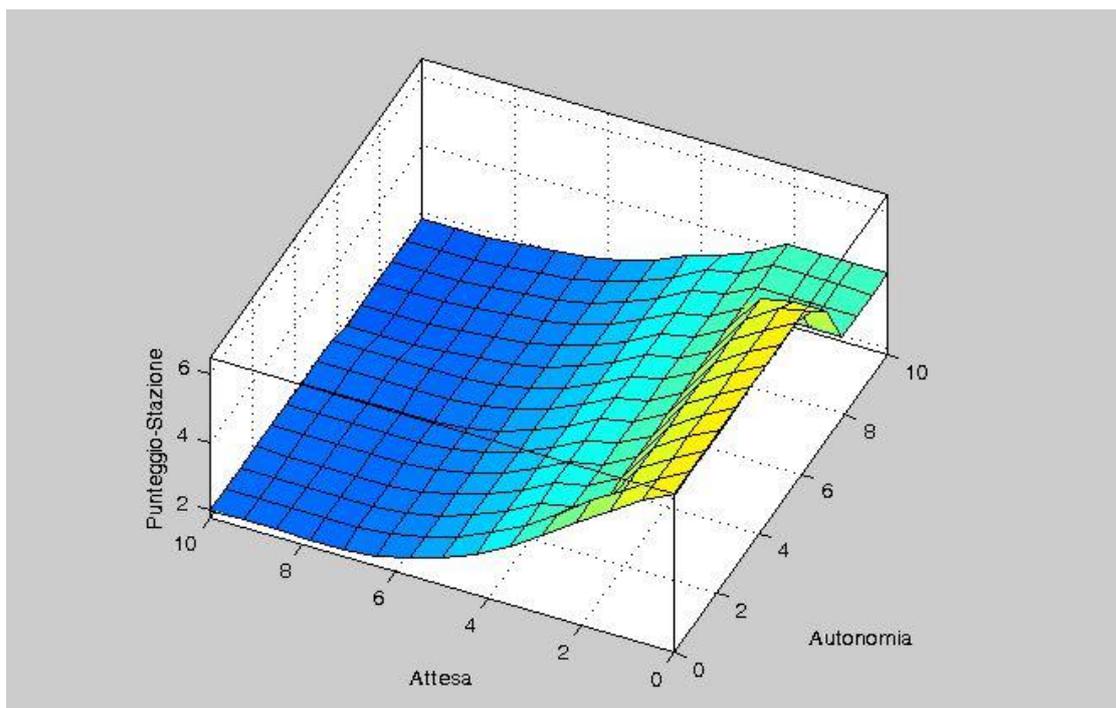


Fig. 15 - Corrispondenza funzionale (*autonomia residua, attesa*) → *punteggio*

2) Corrispondenza funzionale (*autonomia residua, attesa*) → *punteggio* (si veda fig. 15)

La fig. 15 presenta anch'essa una struttura complessa, difficilmente realizzabile con metodi ordinari.

La sua interpretazione concettuale è la seguente: se il tempo di attesa o di coda alla stazione è tendenzialmente basso (a partire dal valore 6 nel suo range normalizzato, con variazioni dolci verso lo zero), per valori qualsiasi dell'autonomia residua viene assegnato un punteggio elevato (punteggio attorno a 6.2).

Solo per valori di autonomia elevati (≥ 8 nel suo range normalizzato) il punteggio subisce un lieve decremento (punteggio attorno a 4.2). Le altre situazioni tendono lentamente ad un valore di punteggio minimo di 1.8.

Con questa corrispondenza si è voluto dare rilievo alla situazione di basso tempo di attesa, con una legge che varia però lentamente: quindi i punteggi massimi si ottengono per attese veramente brevi, ed in ogni caso le variazioni di punteggio non sono brusche.

3) Corrispondenza funzionale (*distanza, attesa*) → *punteggio* (si veda fig. 16).

La fig. 16 ribadisce la complessità della relativa struttura funzionale.

Come si può vedere in figura, valori bassi di attesa e di distanza conferiscono punteggi elevati (maggiori del valore 6), mentre i valori più elevati di queste due grandezze portano i punteggi verso valori bassi (minori del valore 2), con raccordi abbastanza "dolci" tra le due zone.

Esiste la zona: $attesa < 1$, $distanza > 6$, in cui il punteggio viene abbassato al valore 4.8: con questo si vuole dare preminenza alla variabile della distanza, penalizzando leggermente il valore di output anche per valori bassi di attesa.

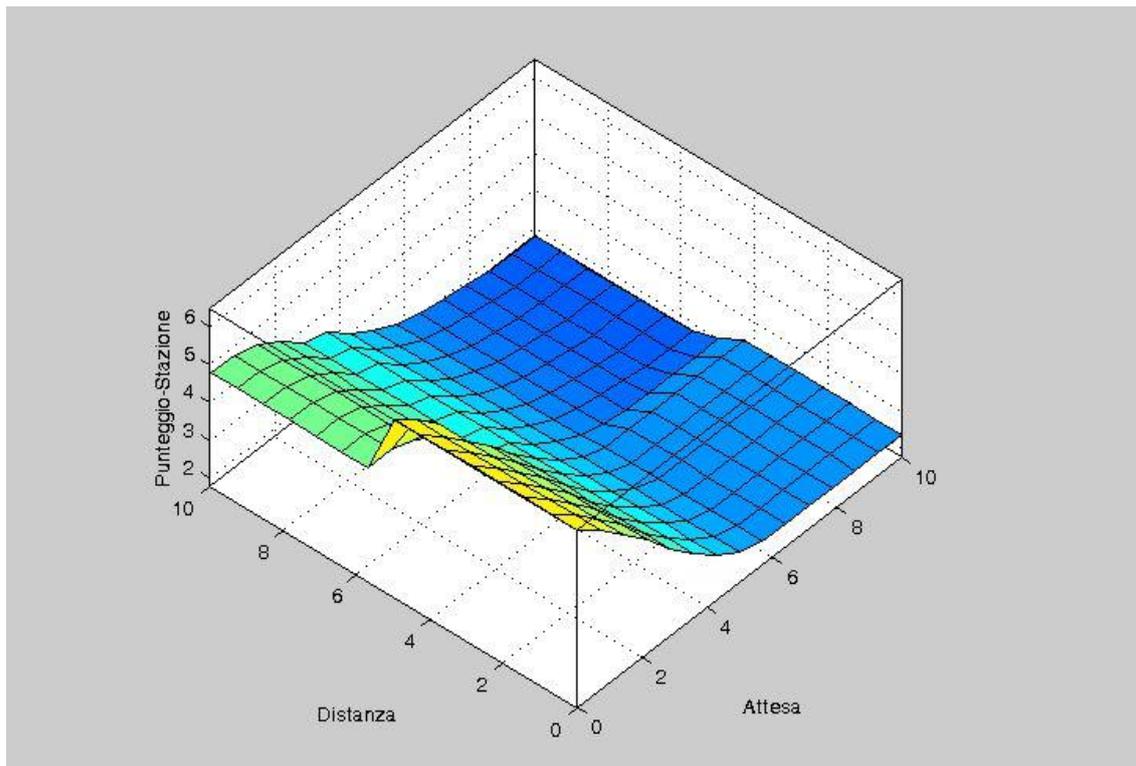


Fig. 16 - Corrispondenza funzionale (*distanza, attesa*) → *punteggio*

In definitiva, l'analisi integrata delle fig. 14, 15 e 16, assieme alle analisi puntuali del Rule Viewer condotte nelle situazioni degne di approfondimento, hanno determinato una accettazione del modello fuzzy descritto nelle pagine precedenti, poiché esso è risultato allineato alle nostre intenzioni progettuali. Esso sembra rappresentare in maniera coerente ed obiettiva la capacità umana (per come l'abbiamo declinata e rappresentata noi) di esprimere un punteggio di attrattività quando sia sollecitata dalle tre variabili scelte.

3.2 Dal punteggio all'assegnazione nel caso di *n* stazioni di ricarica

L'utilizzo del modello fuzzy presentato nelle pagine precedenti trova giustificazione nel problema dell'*assegnazione* dell'utenza potenziale ad un insieme di stazioni di ricarica presenti sul territorio: avendo determinato in una zona urbana un campione plausibile di utenti di vetture elettriche, come possiamo pensare di suddividere questi utenti su un insieme di stazioni di ricarica vicine?

Ovverossia, con quale criterio pensiamo di poter assegnare ciascun utente che necessita di ricaricare le batterie ad una specifica stazione?

E' evidente che un criterio possibile è quello di convenienza complessiva per l'utente, valutata su un insieme di indicatori motivanti, e quindi il modello fuzzy sviluppato prima, con le sue tre variabili di ingresso o stimolo al giudizio, e la sua uscita in termini di punteggio di attrattività, costituisce un modo ragionevole di risolvere questo problema.



Fig. 17 – L’assegnazione di un utente ad una stazione

La fig. 17 presenta la soluzione proposta: se abbiamo sul territorio urbano vicino n stazioni di ricarica, valutiamo per ciascuna di esse il punteggio assegnato dal sistema fuzzy e decidiamo di assegnare l’utente alla stazione che realizza il punteggio maggiore, cioè a quella che ottiene il gradimento maggiore.

In termini operativi: l’utente k-esimo, in base alla sua posizione sul territorio, conosce la distanza (in linea d’aria) rispetto a ciascuna stazione in competizione, oltre a sapere, per interrogazione di ciascuna di esse tramite canale informatico, i relativi tempi di attesa.

L’autonomia residua inoltre è alla sua portata conoscitiva.

Per la stazione 1 quindi verrà attivato il modello fuzzy con input (normalizzati): autonomia residua, distanza dell’utente rispetto alla stazione 1, tempo di attesa della stazione 1, producendo un punteggio P_1 .

Un discorso analogo, dopo reperimento dei relativi dati di input, viene fatto per tutte le altre stazioni, ottenendo alla fine un insieme di punteggi da cui viene estratta la stazione vincitrice come scelta di valore massimo sull’insieme, e l’utente k-esimo quindi viene assegnato ad essa per l’operazione di ricarica.

Se abbiamo un campione con C_u utenti da assegnare ad n stazioni di ricarica, dovremo attivare il modello fuzzy ($C_u \times n$) volte per avere un’assegnazione completa, ma l’attivazione del modello fuzzy non comporta carichi impegnativi di calcolo.

3.3 Dall’assegnazione degli utenti al simulatore per ottenere i profili di affollamento di ciascuna stazione

La capacità di fare un’assegnazione “ragionevole” di utenti alle stazioni di ricarica col modello fuzzy, assieme alla ricchezza informativa del database OctoTelematics, permettono di ottenere un risultato ulteriore: i carichi di utenza nel tempo di ciascuna stazione di ricarica, cioè i profili di affollamento di ciascuna stazione nel tempo.

L’informazione di tempo è essenziale: infatti ogni evento di ricarica desunto dal database deve essere processato con una scansione temporale precisa, rispettando il distacco temporale rispetto all’evento precedente e successivo.

La fig. 18 riporta un estratto del database, in cui si vedono nell’ordine le colonne: codice identificativo del guidatore, codice UNIX per la data (giorno/mese/anno/ore/minuti/secondi), latitudine e longitudine (moltiplicate per 10^6), percorrenza in metri effettuata sino a quel momento.

Se quindi procediamo all’assegnazione ad esempio dell’evento della prima riga col modello fuzzy, ed aspettiamo 111 secondi (tale è la differenza di tempo Δt desumibile dalla fig. 18 per differenza tra i valori della seconda colonna) prima di assegnare l’evento della seconda riga, noi rispettiamo l’ordine temporale e *simuliamo* la successione reale degli eventi.

Se proseguiamo nella assegnazione di tutti gli utenti della tabella fornita dal database, che è ordinata per tempi crescenti e di cui la fig. 18 è un estratto, rispettando i tempi che intercorrono tra gli eventi, riusciamo a creare una simulazione completa nella settimana considerata della situazione di espletamento del servizio di ricarica che si creerebbe nella realtà.

Guidatore	Tempo	Latitudine	Longitudine	Percorso
1042777	1367838109	41812775	12430296	50311
1022691	1367838220	41808841	12445191	56410
650041	1367839360	41816136	12459545	57485
1123228	1367839629	41816920	12467948	55218
1761495	1367840197	41833539	12462881	78800
216659	1367841057	41807760	12442673	51396
261741	1367842606	41817371	12462028	66826
829012	1367844819	41818466	12439362	51760
293406	1367845281	41821994	12439568	65749
1131967	1367845924	41830444	12457401	50239
290522	1367846042	41809635	12442448	56866
994665	1367846176	41806842	12457011	70383
1282363	1367846999	41809414	12430305	57697
355805	1367847212	41815665	12457754	66212
1069163	1367847452	41831519	12467646	129987
1094186	1367847699	41817008	12458109	62287
818222	1367847867	41832064	12466148	55640
1758048	1367847894	41808714	12445357	53092
1050771	1367848244	41833274	12466646	53155
1747927	1367848970	41833638	12464540	52881
1597520	1367849269	41831143	12467949	54967
1583649	1367849349	41810550	12431750	70297

Delta_t = 111 sec.

(Codifica UNIX della data)
06/05/2013, ore 11:50:57

Tempo_ridotto:
Delta_t/riduzione_tempo

Fig. 18 – Estratto dal database degli utenti

Al rispetto dei tempi bisogna associare inoltre ad ogni stazione con i suoi stalli o punti di ricarica una *lista* di impegno corrente (per sapere ad ogni istante se e quali stalli siano impegnati oppure no, e se impegnati per quanto tempo ancora), in maniera da avere in ogni momento il grado di affollamento della stazione e per poter rispondere in maniera precisa alla domanda degli utenti riguardo ai tempi di attesa o coda (che è una delle tre variabili di input al modello fuzzy, è quella che denota il livello del servizio).

Questi tre elementi (capacità di fare un'assegnazione di utenza alle stazioni di ricarica, rispetto dei tempi tra gli eventi, dotazione di liste di impegno per ogni stazione di ricarica), opportunamente gestiti da un software dotato di capacità di attesa temporale, permettono lo sviluppo di un simulatore degli eventi di ricarica che possa produrre un andamento realistico del servizio di ricarica elettrica alle stazioni.

Il simulatore così pensato ha un unico inconveniente: per fare un ciclo completo di simulazione dovremmo aspettare tanto quanto durano gli eventi a nostra disposizione, cioè una settimana.

Questo problema si può risolvere passando dal *tempo reale* a quello *accelerato*, cioè scalando tutti i tempi di uno stesso fattore, in modo da avere *rapporti* di tempo inalterati fra intervalli consecutivi.

Se ad esempio tra l'evento k-esimo della tabella del database e quello (k+1)-esimo c'è un intervallo di attesa I_k , e tra l'evento (k+1)-esimo e quello (k+2)-esimo c'è un intervallo I_{k+1} , dividendo tutti i tempi per uno stesso fattore ft il rapporto tra intervalli consecutivi ridotti (I_{k+1}/ft) : (I_k/ft) si mantiene inalterato ed uguale a quello originario $I_{k+1} : I_k$, con ciò preservando la scala temporale *relativa*.

La nostra scelta è stata quella di scalare per 5.000 volte, cioè diminuire tutti gli intervalli temporali di attesa di 5.000 volte; in questo modo i 604.800 secondi di una settimana per divisione di un fattore 5.000 si riducono a 120,96 secondi, praticamente 2 minuti: un ciclo completo di simulazione si risolve dunque in 2 minuti ed il procedimento risulta accettabile nella sua durata.

4 Risultati del simulatore su scenari precostituiti

In questo capitolo verranno presentati alcuni risultati relativi alla nostra area urbana di studio pensata in situazioni particolari, che evolveranno da scenari di massima disponibilità di punti di ricarica a scenari con carenza di punti di ricarica, risultati conseguenti all'applicazione del simulatore messo a punto e descritto nei paragrafi precedenti; esso verrà infatti messo alla prova per valutare la sua capacità di affrontare lo studio e fornire risultati plausibili.

long	lat	tipo	via	
12,45472	41,82684	Agip	I-Roma	Viale Dell' Oceano Pacifico
12,46193	41,81705	Agip	I-Roma	Via Cristoforo Colombo
12,4621	41,81671	Agip	I-Roma	Via Cristoforo Colombo
12,46725	41,81905	DKV (Erg)	I-Roma (Rm)	Viale Dell'Oceano Atlantico
12,46199	41,81706	DKV (Agip)	I- Roma	Via C. Colombo 708
12,46163	41,81657	DKV (Erg)	I- Roma	V.Colombo/V.O.Pacif.
12,4621	41,82067	Eni	I-Italia	
12,44338	41,82117	Eni	I-42	Via Di Decima Roma
12,44167	41,83332	Eni	I-Via	Isacco Newton di prossima apertura
12,45771	41,82333	Eni	I-Viale	dell'oceano pacifico
12,44594	41,80912	Eni	I-lavaggio	
12,4621	41,81671	Eni	I-Via	Cristoforo Colombo Roma
12,46193	41,81713	Eni	I-Via	Cristoforo Colombo Roma
12,46708	41,81917	ERG	I-Roma	Viale Dell'oceano Atlantico
12,46162	41,81658	ERG	I-Via	Cristoforo Colombo Roma
12,46004	41,82099	Esso	I-Viale	Dell'Oceano Pacifico Roma
12,44268	41,82198	Euroshell	I-via	di Decima
12,46014	41,82923	Euroshell	I-Viale	della tecnica RM
12,46452	41,82186	Euroshell	I-Via	C.Colombo RM
12,45763	41,82358	IP	I-Viale	Dell'Oceano Pacifico Roma
12,4618	41,8169	GPL/LPG	I-Roma	V C Colombo-Erg
12,46043	41,82928	Q8	I-Italia	
12,45471	41,82667	Q8	I-Viale	Dell'Oceano Pacifico Roma
12,4645	41,82186	Shell	I-Roma	
12,46485	41,82186	Shell	I-Roma	
12,4602	41,82923	Shell	I-Roma	
12,46691	41,83285	I-Total	I-Roma	
12,43721	41,81911	Tor Di Valle Piazzale Ezio Tarantelli		
12,45244	41,80313	Parceggio Ifo	Regina Elena - S.gallicano	
12,46288	41,83192	Officina Eur Srl		
12,46605	41,83536	Car Parking S.r.l.		
12,46603	41,83361	Eur Parking Srl		

Fig. 19 – Lista delle stazioni di servizio (sopra) e dei parcheggi (sotto) nell'area interessata

La fig. 19 riporta una lista di possibili località che possono essere scelte per accogliere le stazioni di ricarica; esse sono state riprese da un database di POI (points of interest) [6], deputato a riportare punti di interesse collettivo per la città di Roma e di molte altre località, a valle di una focalizzazione sulla nostra area.

In figura è mostrata una lista di stazioni di servizio (nella parte superiore) e di parcheggi (nella parte inferiore), tutti posizionati nell'area di nostro interesse; abbiamo ritenuto, con una scelta del tutto ipotetica e fatta a fini puramente dimostrativi, che le possibili stazioni di ricarica potessero essere locate su alcuni di questi siti.

Più in particolare, abbiamo scelto tre di questi siti, evidenziati in rosso in fig. 19, tali da coprire abbastanza bene l'area di interesse; la simulazione sarà effettuata rispetto a questa scelta, rimanendo valido il fatto che essa può essere fatta per qualsiasi altra localizzazione e per qualsiasi altro numero di stazioni.

Inoltre facciamo l'ipotesi che il tempo di ricarica breve delle batterie sia di 30 minuti, dimodoché nella situazione più ottimistica il tempo totale da passare alla stazione coincide col solo tempo di ricarica, quando il tempo di attesa o coda è nullo.

La fig. 20 mostra la posizione delle tre stazioni rispetto al campione di utenza.

Fissato questi primi parametri (3 stazioni con le relative coordinate geografiche, tempo di ricarica), gli ulteriori parametri che connoteranno i nostri scenari di studio sono il *numero di stalli o punti di ricarica* per ciascuna stazione.

Rispetto a questi ultimi parametri, abbiamo deciso di valutare tre scenari:

- 1) stazione no. 1 con 20 stalli, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 30 stalli (scenario di ampia disponibilità di punti di ricarica, per un totale di 80 punti di ricarica);
- 2) stazione no. 1 con 20 stalli, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 10 stalli (scenario di media disponibilità di punti di ricarica, per un totale di 60 punti di ricarica);
- 3) stazione no. 1 con 10 stalli, stazione no. 2 con 10 stalli, stazione no. 3 con 20 stalli (scenario di bassa disponibilità di punti di ricarica, per un totale di 40 punti di ricarica).

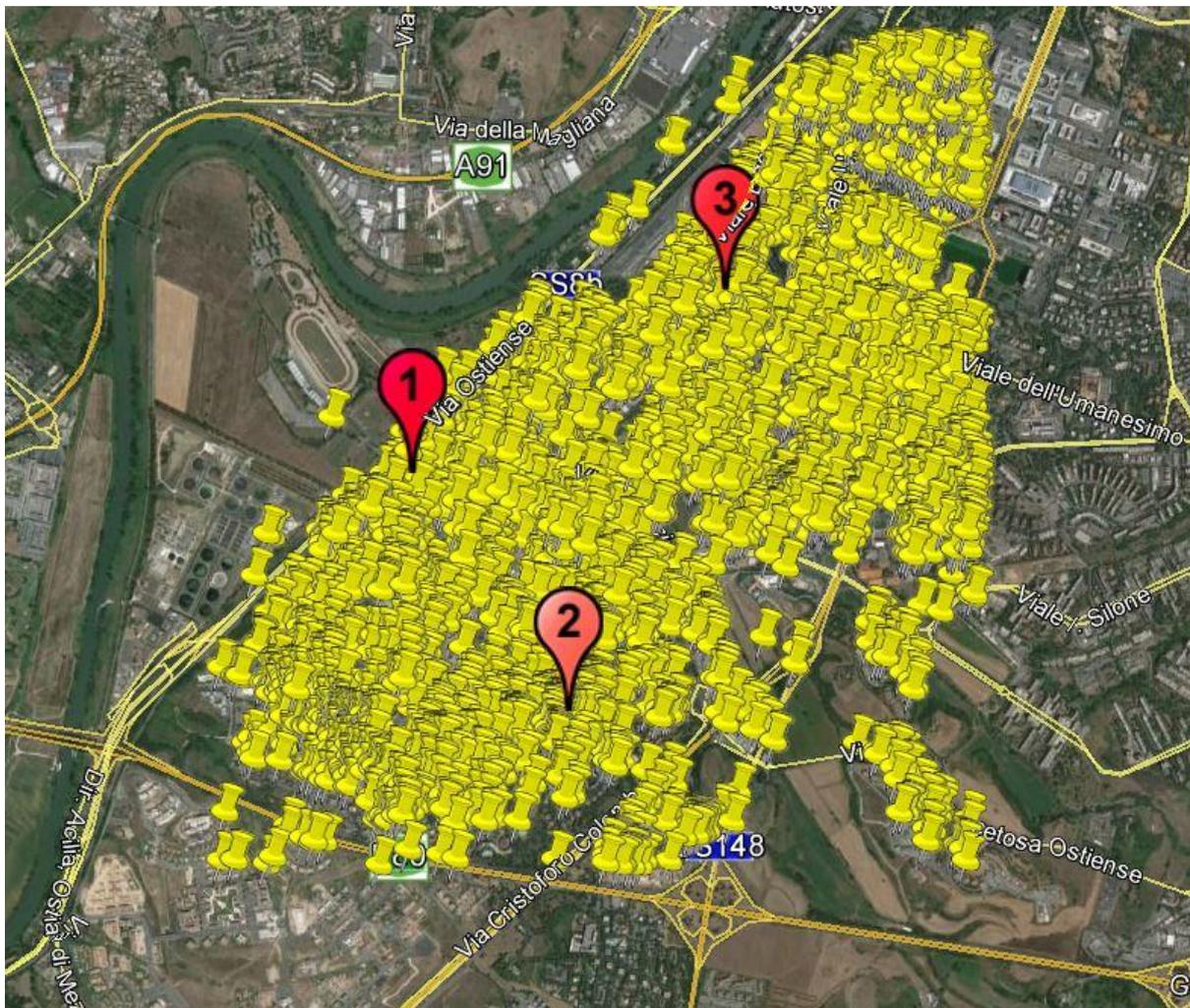


Fig. 20 – La posizione delle tre stazioni scelte

4.1 *Primo scenario: stazione no. 1 con 20 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 30 stalli*

La fig. 21 mostra l'esito della simulazione per questo scenario; essa presenta gli affollamenti istantanei di ciascuna stazione durante la settimana (espressa nelle sue 168 ore).

La stazione no. 1 trova i suoi 20 stalli impegnati al massimo per un breve tempo nella prima giornata della settimana, così come anche la seconda stazione con i suoi 30 stalli.

La stazione no. 3, che come si vede in fig. 21 ha il più ampio bacino di utenza, impegna la sua massima disponibilità di 30 stalli per più giorni ma sempre per brevi periodi; in ogni caso ha il profilo più elevato di utenza. Da questi profili si deduce che lo scenario è abbastanza buono per quanto riguarda i livelli di servizio, cioè i tempi totali (tempo per la ricarica breve + eventuale tempo di attesa) necessari alla ricarica.

Si deve notare che questa capacità del simulatore di produrre il grado di affollamento nel tempo per ciascuna stazione fornisce le basi per produrre l'importante risultato di *stimare l'impegno di potenza elettrica* nel tempo per ognuna di esse.

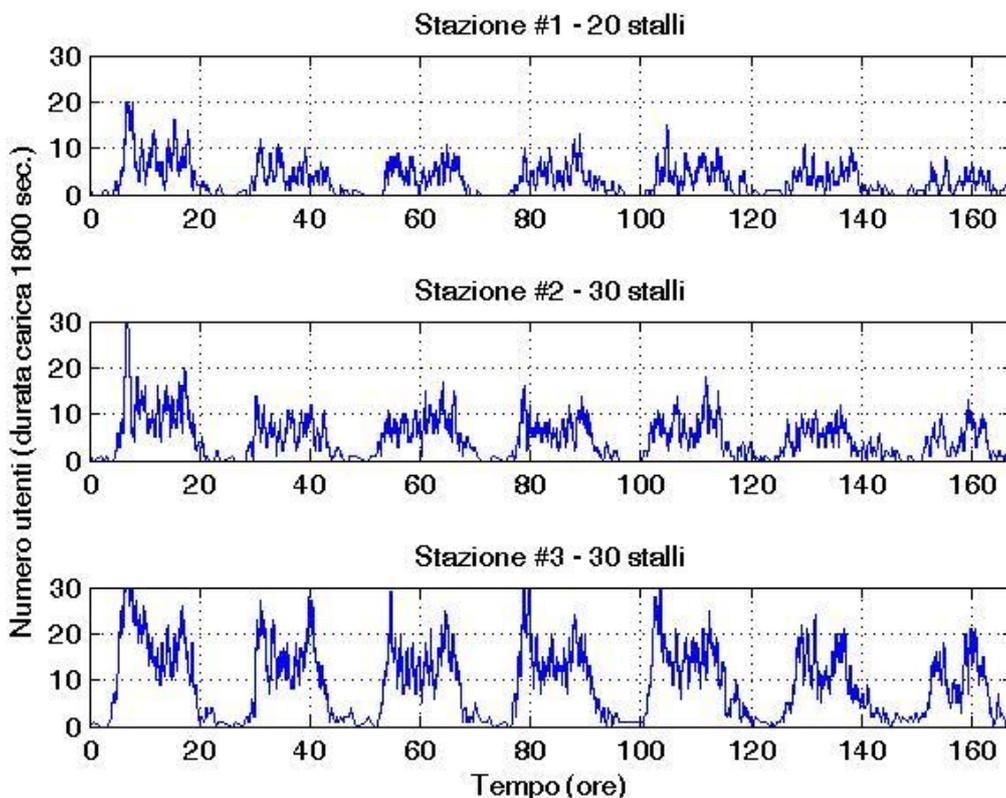


Fig. 21 – L'affollamento per il primo scenario

La fig. 22 presenta i livelli di servizio per questo primo scenario, cioè l'andamento dei tempi totali di permanenza alla stazione; come si vede in figura, questa situazione è molto favorevole alla clientela perché solo pochissime situazioni (concentrate quasi esclusivamente nella prima giornata) danno luogo a tempi totali maggiori dei tempi di ricarica, e di poco: il valore massimo si localizza a 2261 secondi, 1800 secondi essendo l'inevitabile attesa per la ricarica breve.

La fig. 23 mostra l'istogramma della variabile normalizzata "tempo di attesa"; da essa risulta che il 98.39% degli eventi di ricarica sono compresi nel canale più basso che comprende il valore zero di tempo di attesa: quindi viene ribadita la circostanza felice di ottimo livello di servizio per questo scenario.

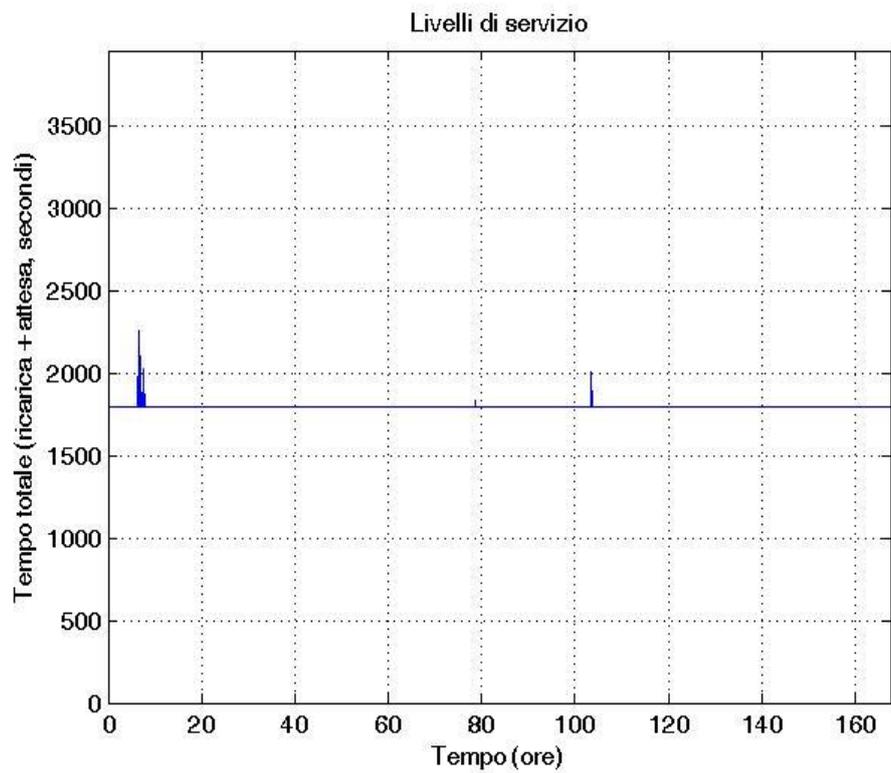


Fig. 22 – Il livello di servizio per il primo scenario

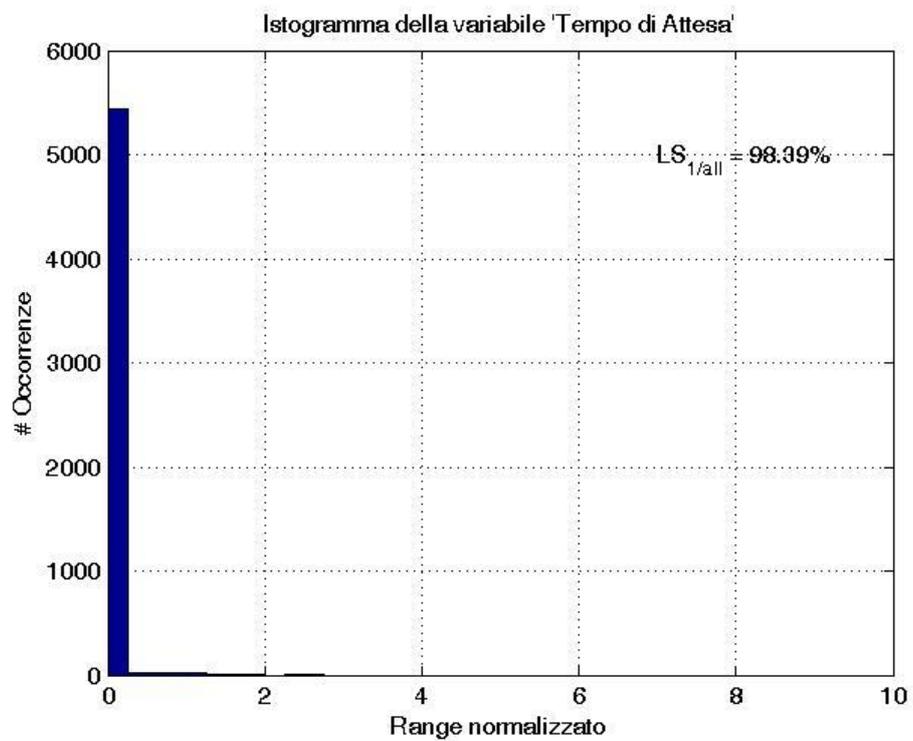


Fig. 23 – Istogramma del tempo di attesa normalizzato per il primo scenario

4.2 Secondo scenario: stazione no. 1 con 20 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 30 stalli, stazione no. 3 con 10 stalli

Con questo scenario si vuole produrre una situazione di congestione sulla stazione no. 3, che è quella con un bacino di utenza più grande, penalizzandola nel suo numero di stalli.

Ci aspettiamo dunque tempi di attesa più significativi ed una redistribuzione della clientela verso le altre due stazioni, perché i tempi di attesa sulla no. 3 disincentivano la sua scelta.

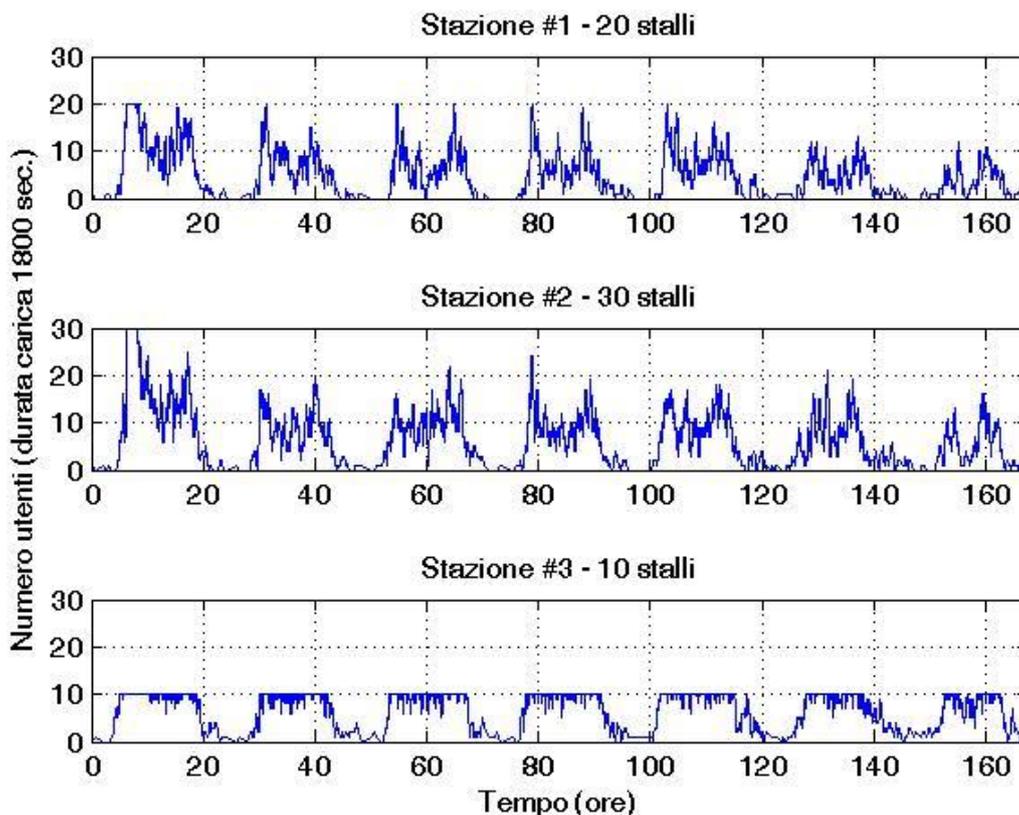


Fig. 24 – L’affollamento per il secondo scenario

La fig. 24 presenta il risultato di affollamento per questo scenario. Si può notare come previsto un innalzamento dei valori di utenza per la stazione no. 1 e no. 2, come effetto del reindirizzamento di parte dell’utenza; la stazione no. 3 infatti per larga parte del tempo è in saturazione completa dei suoi 10 stalli.

La fig. 25 presenta il livello di servizio per il secondo scenario. Si vede chiaramente lo scadimento di questo livello rispetto alla situazione precedente, arrivando il valore massimo di tempo totale di permanenza alla stazione (per ricarica + attesa) a 3.888 secondi, più di un’ora.

La fig. 26 riporta l’istogramma della variabile normalizzata “tempo di attesa”; da essa si vede che l’ 82.89% degli eventi di ricarica sono compresi nel canale più basso che comprende il valore zero di tempo di attesa: quindi c’è un peggioramento rispetto alla percentuale di servizio a tempo di attesa nullo o molto basso dello scenario precedente (98.39%).

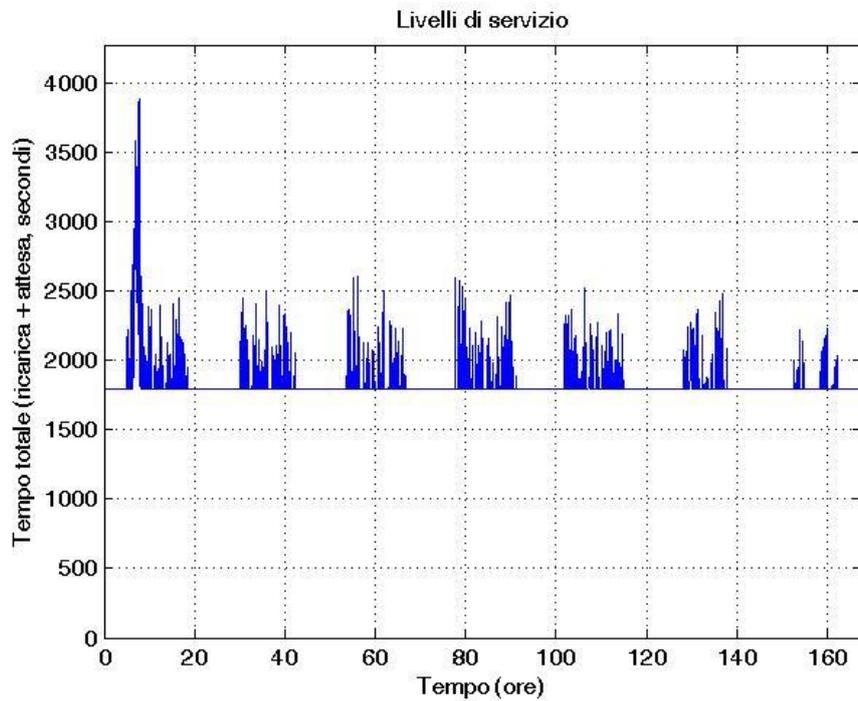


Fig. 25 – Il livello di servizio per il secondo scenario

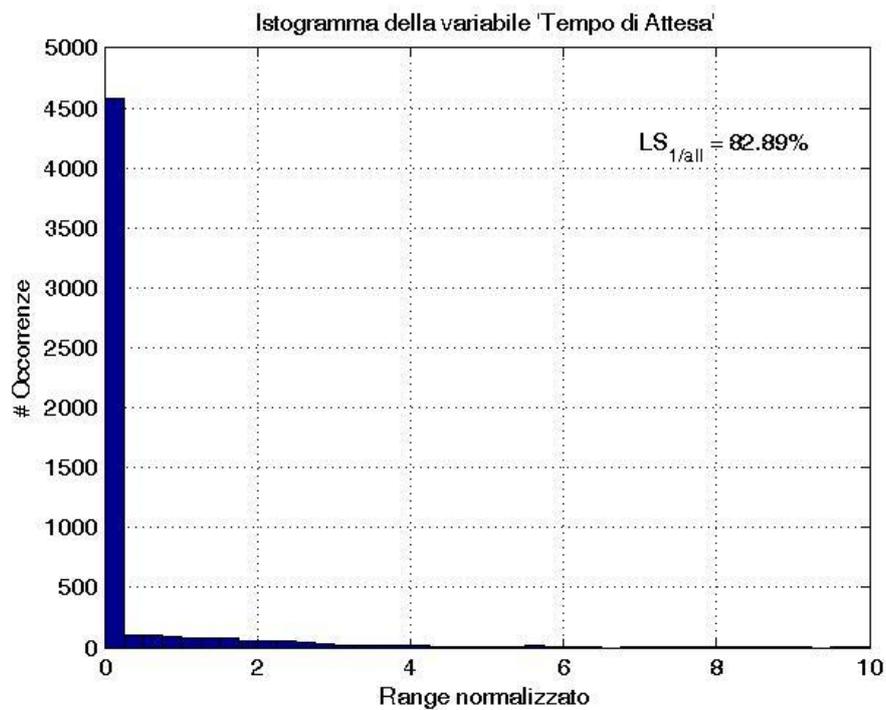


Fig. 26 - Istogramma del tempo di attesa normalizzato per il secondo scenario

4.3 Terzo scenario: stazione no. 1 con 10 stalli per la ricarica, stazione no. 2 con 10 stalli, stazione no. 3 con 20 stalli

Questo scenario vuole introdurre una situazione di congestione più elevata della precedente, riducendo gli stalli su tutte le stazioni; la no. 3 è quella con riduzione percentuale minore, perché è associata al bacino di utenza più grande.

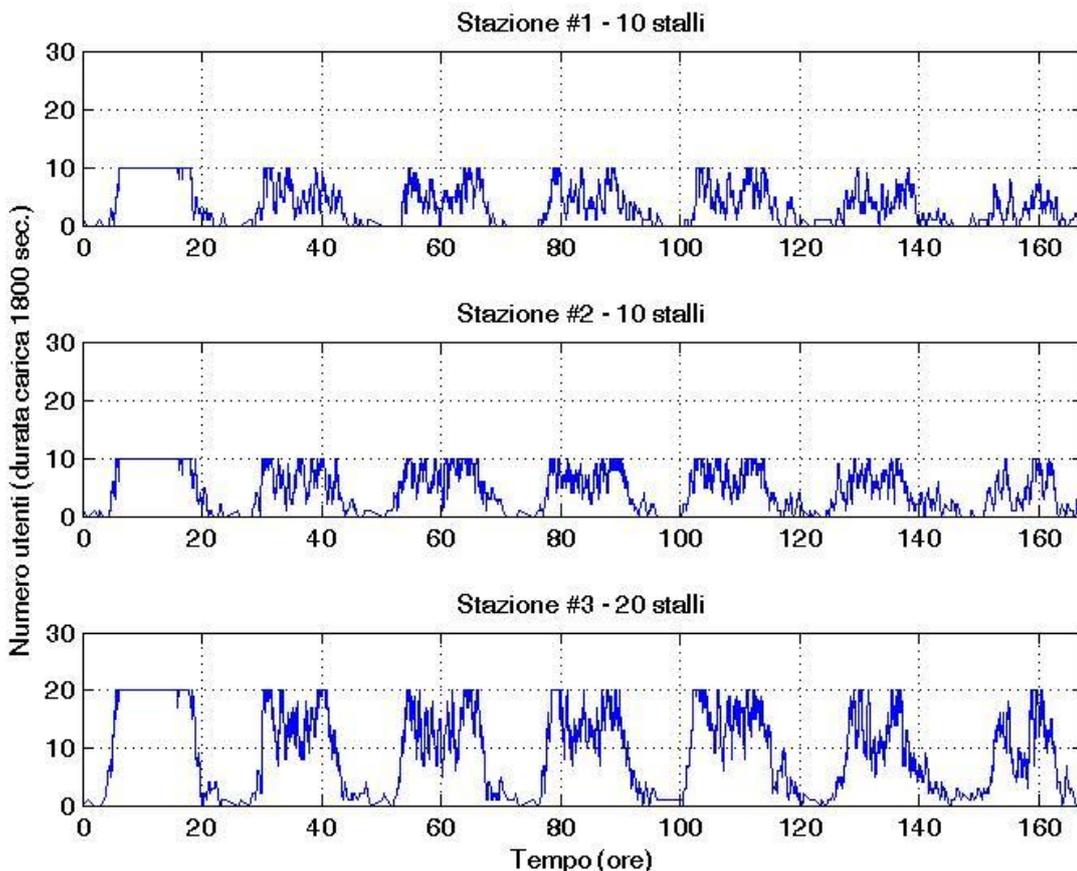


Fig. 27 – L’affollamento per il terzo scenario

La fig. 27 mostra l’affollamento istantaneo sulle tre stazioni: c’è una diffusa situazione di saturazione su tutte. La stazione no. 3, che nel primo giorno di fig. 14 oltrepassava il valore di 20 occupazioni di stalli solo per 1/3 circa della giornata, adesso viene saturata quasi completamente per tutta la sua durata, per effetto del reindirizzamento di utenza dalle altre due, che evidentemente hanno tempi di attesa maggiori.

La fig. 28 presenta il livello di servizio per questo scenario, il valore massimo di tempo totale (per ricarica ed attesa) risultando di 8.356 secondi, quasi due ore e 20 minuti: un livello decisamente scadente.

La fig. 29 mostra infine l’istogramma della variabile normalizzata “tempo di attesa”; da essa si vede che solo il 78.68% degli eventi di ricarica sono compresi nel canale più basso che comprende il valore zero di tempo di attesa: la rimanente percentuale va incontro a tempi totali di permanenza alla stazione anche alti, per i più sfortunati decisamente insopportabili

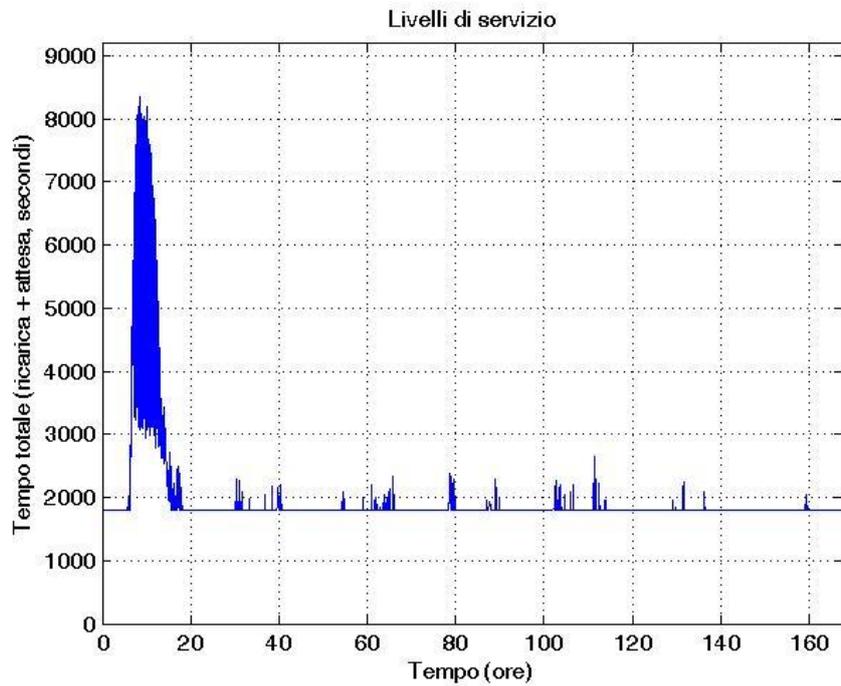


Fig. 28 – Il livello di servizio per il terzo scenario

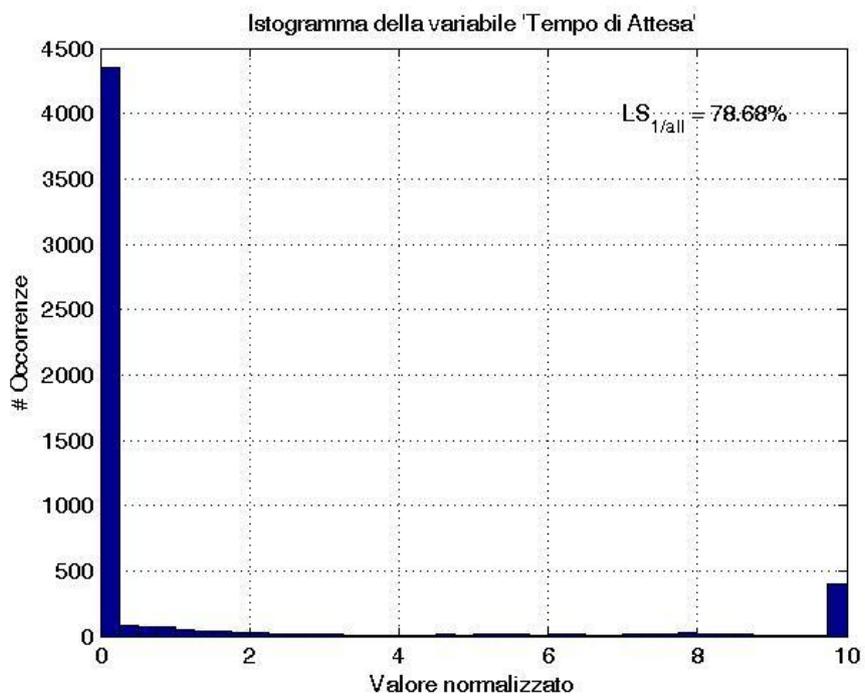


Fig. 29 - Istogramma del tempo di attesa normalizzato per il terzo scenario

5 Conclusioni

Il presente lavoro si è svolto lungo due direttrici principali: l'utilizzazione di una risorsa Big Data, quale è quella OctoTelematics, per cercare di individuare un campione di utenza potenziale per la ricarica elettrica in un'area urbana di Roma, supponendo un passaggio completo dalla motorizzazione termica a quella elettrica, e lo sviluppo di un modello comportamentale basato su logica fuzzy per la messa a punto di un simulatore "di area" capace di definire l'affollamento istantaneo dell'utenza nelle stazioni di ricarica.

Le due tematiche sono state presentate nei capitoli 1 e 2 rispettivamente.

Il campione di utenza è stato individuato tramite un'analisi della percorrenza di tutti i guidatori censiti da OctoTelematics, guidati dal criterio di selezionare quelli in sosta nell'area di studio e con percorrenze effettuate comprese tra 50 km e 140 km.

La messa a punto del simulatore invece rende disponibile uno strumento che, a nostro parere, risolve pienamente il problema dell'analisi della ricarica elettrica "lato domanda", cioè dal punto di vista dell'utenza e delle sue necessità di avere garantiti dei livelli di servizio adeguati.

Tale strumento è parametrico, quindi può essere variato nei parametri strategici quali: scelta del numero e della localizzazione delle stazioni di ricarica nell'area urbana interessata, ed all'interno di ciascuna di esse definizione del numero di stalli o punti di ricarica.

Con questi gradi di libertà a disposizione si possono creare scenari diversi per valutare il grado di affollamento ed il livello di servizio sino a convergere su una soluzione adeguata alle richieste dell'utenza.

Come sottoprodotto del simulatore si può ottenere facilmente il tracciamento degli impegni istantanei di potenza per ciascuna stazione di servizio; basta infatti considerare i profili energetici temporali normalmente utilizzati per la ricarica elettrica delle batterie e pesarli (moltiplicarli) per i profili istantanei di affollamento.

L'analisi "lato domanda" quindi a nostro parere è abbastanza completa; manca però un collegamento con la corrispettiva analisi "lato offerta", quella effettuata dal punto di vista dell'investitore privato o pubblico che decida di offrire in maniera remunerativa i servizi di ricarica elettrica.

Le due analisi devono obbligatoriamente avere un punto di incontro per lo scambio di dati, di reciproca conoscenza di vincoli specifici, etc., in maniera da permettere una soluzione integrata e soddisfacente per tutti gli attori presenti sulla scena; questo incontro potrebbe costituire l'ulteriore (e forse definitivo) punto di sviluppo sul tema.

6 Riferimenti bibliografici

- [1] 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", Settembre 2015, http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/elettromobilita/2014/rds-par2014-107.pdf
- [2] Lofti A. Zadeh, "Fuzzy sets and systems". In: Fox J, editor. *System Theory*. Brooklyn, NY: Polytechnic Press, 1965: 29–39
- [3] Lofti A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes". *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 1973; 3: 28–44.
- [4] L. Quagliarella, N. Sasanelli, "Soft Computing: teoria tecniche e applicazioni", Università degli Studi di Bari, http://www.bioingegneria.uniba.it/didattica/argomenti/aggiunte/soft_computing.pdf
- [5] MathWorks, Fuzzy Logic Toolbox, ver. R2016a, <http://it.mathworks.com/help/fuzzy/>
- [6] <http://poiplaza.com/>

7 Abbreviazioni ed acronimi

FLS: sistema logico fuzzy (Fuzzy Logic System)

MF: Membership Function. Funzione che nella logica fuzzy denota il grado di plausibilità o di vicinanza di un set di dati ad una proprietà fissata