



Ricerca di Sistema elettrico

## Modello per la simulazione della mobilità urbana veicolare

S. Taraglio, S. Chiesa, V. Nanni

Report RdS/PTR2019/019

## MODELLO PER LA SIMULAZIONE DELLA MOBILITÀ URBANA VEICOLARE

S. Taraglio\*, S. Chiesa\*, V. Nanni\*

\*ENEA

Dicembre 2019

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Mobilità

Linea di attività 2.19: Progetto dell'aggiornamento della Piattaforma di supporto allo sviluppo della e-mobility urbana di passeggeri e merci

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Maria Pia Valentini, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 IL DATASET OCTO TELEMATICS E LA SUA PRE ELABORAZIONE .....	6
2.2 ANALISI GENERALE DEL DATASET OCTO TELEMATICS.....	7
2.3 ANALISI DEI TEMPI DI SOSTA .....	10
2.4 INDIVIDUAZIONE DELLE ABITAZIONI .....	11
2.5 ANALISI DELLE SOSTE QUOTIDIANE .....	15
2.6 APPROCCIO DI MODELLAZIONE COMPUTAZIONALE PER LA SUCCESSIVA ANNUALITÀ .....	17
2.6.1 <i>Riconoscimento delle attività</i> .....	17
2.6.2 <i>Interpretazione dei viaggi quali sequenze di attività e riconoscimento di classi di utenti</i> .....	18
2.6.3 <i>Generazioni di sequenze di attività</i> .....	18
3 APPENDICE - SULLA MORFOLOGIA DELLA CITTÀ DI ROMA .....	18
4 CONCLUSIONI.....	24
5 RINGRAZIAMENTI.....	24
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	24
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	25
8 ELENCO DELLE FIGURE .....	26

## Sommario

In questo documento sono descritte le attività portate avanti nella prima annualità del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 nel Progetto di aggiornamento della Piattaforma di supporto allo sviluppo della e-mobility urbana di passeggeri e merci, afferente al Workpackage 'Mobilità' (WP2). Il progetto è finalizzato allo sviluppo di una piattaforma di supporto alle città per l'individuazione delle strategie ottimali di governo della mobilità orientate all'efficienza energetica e alla decarbonizzazione del settore del trasporto urbano oggi fortemente dipendente dall'uso di combustibili fossili e con alte potenzialità di risparmio energetico.

In questo documento sono riportate in particolare i risultati delle attività di ricerca portate avanti dal team del laboratorio di Robotica dell'ENEA propedeutiche allo sviluppo di un componente fondamentale del nuovo impianto modellistico e cioè del modello di concatenamento degli spostamenti in auto (Car Travel Chain Model) capace di riprodurre schemi di attività e sequenze di spostamenti e percorsi sul grafo stradale effettuati settimanalmente dalle auto private.

La base utilizzata per la modellizzazione dei profili di mobilità delle auto private è costituita da consistenti dataset di tracce GPS registrate nell'area di studio presa in esame.

## 1 Introduzione

Lo studio e sviluppo modellistico svolto dal team di ricercatori del laboratorio di Robotica dell'Enea è inserito nella linea di ricerca finalizzata all'integrazione e all'ampliamento dell'impianto modellistico della piattaforma software "EMU" sviluppata e sperimentata nell'area metropolitana di Roma nel corso del precedente periodo di ricerca (PAR 2016 e 2017).

La piattaforma "EMU" era stata ideata e sviluppata come strumento di ausilio allo studio di scenari di diffusione di flotte di veicoli elettrici nelle aree urbane per la stima e la visualizzazione su diverse scale spaziali e temporali delle potenziali fluttuazioni dei consumi elettrici e per la valutazione di soluzioni per lo sviluppo di una rete di ricarica pienamente adeguata alle esigenze di autonomia dei veicoli e di compatibilità con la capacità della rete elettrica.

La nuova versione della piattaforma software EMU è concepita con nuovi *layer* (o strati) informativi e un più esteso impianto modellistico capace di integrare, analizzare e interpretare open data e big data urbani riguardanti l'offerta di trasporto e la mobilità di veicoli passeggeri e merci.

L'obiettivo è di offrire un più ampio e articolato quadro conoscitivo sullo stato e sulla struttura della mobilità in termini di comportamento e abitudini dei viaggiatori, di accessibilità e fruizione degli spazi urbani, di offerta di servizi di trasporto collettivo, di consumi energetici per le diverse modalità di trasporto e di impatto sulle emissioni di gas responsabili del cambiamento climatico.

L'ampliamento dell'impianto modellistico di "EMU" va inoltre incontro all'esigenza di sviluppare nuove funzionalità di ausilio allo studio e valutazione dei potenziali effetti sui consumi energetici e sulle emissioni legati ai principali macrotrend che nel breve-medio termine contribuiranno a ridisegnare il settore della mobilità urbana, ossia l'elettrificazione, la condivisione, la multimodalità e i veicoli a guida autonoma.

Infine la nuova piattaforma sarà arricchita di nuovi dati e nuovi layer informativi per lo sviluppo e il test di algoritmi e tecnologie per l'ottimizzazione della consegna delle merci, il monitoraggio delle flotte di veicoli elettrici e la gestione delle operazioni di ricarica delle batterie dei veicoli.

L'attività svolta dal team del Laboratorio di Robotica, qui descritta, è propedeutica alla realizzazione di un modello computazionale che sia in grado di riprodurre la domanda di mobilità nella città di Roma. In altre parole si vuole realizzare un sistema in grado di simulare le necessità di spostamento della popolazione in termini di sequenze di luoghi della città quali abitazioni, uffici, luoghi di svago, etc. dove le persone si recheranno nell'arco della giornata o di più giornate.

Il punto di partenza per questo studio è rappresentato dai dati della Octo Telematics, relativi alle 'scatole nere' montate a bordo dei veicoli da alcune società assicurative. I dati a disposizione sono relativi al mese di maggio 2013, nell'area della Città Metropolitana di Roma. Ad ogni passo temporale, vengono registrate alcune quantità di interesse quali ad esempio la posizione (latitudine e longitudine), stato del motore (accensione, spegnimento o in marcia), velocità, data e ora.

In una prima fase si è compiuta una pre elaborazione dei dati per eliminare errori e controllarne in generale l'attendibilità.

Si è poi passati ad una fase di analisi per prendere confidenza con i dati e realizzare qualche statistica che permettesse una maggiore comprensione dello scenario.

Si è quindi deciso l'approccio globale al problema e all'utilizzo dei dati Octo Telematics. In letteratura esiste un ragguardevole numero di lavori che si dedicano allo studio delle traiettorie di mobilità umana utilizzando dati di diverso tipo. Nei lavori pionieristici si utilizzava quale dato rappresentativo (*proxy*) la circolazione delle banconote e, a partire da questa, si risaliva alla mobilità umana. Più recentemente sono stati utilizzati i CDR (Call Data Records) ovvero i dati relativi alle chiamate effettuate con telefoni cellulari, che contengono, tra l'altro, l'antenna cui il telefono è connesso con la sua posizione geografica; altra classe di dati è rappresentata dai dati GPS (Global Position System) ricavabili dai cellulari o dalle scatole nere presenti sui veicoli, oppure i dati di posizione relativi all'uso di applicativi *social* quali twitter o altri, si veda [1] per una rassegna.

Per quello che attiene alla modellistica della mobilità umana si rimanda a [2], un lavoro di rassegna di grande completezza ed accuratezza su tutti i principali modelli generativi di traiettorie di mobilità umana. In questo genere di approcci ci si concentra sulla generazione di traiettorie che risultino statisticamente simili a quelle che si registrano sperimentalmente, in diversi ambiti (cittadino, interurbano, etc.).

Esiste però un filone di studio che si potrebbe descrivere come ‘negativo’ rispetto a questo. In esso ci si concentra principalmente sulle soste piuttosto che sulle traiettorie di movimento. L’idea di base è che ci si muova da un punto ad un altro con lo scopo di compiere una certa attività nel punto di arrivo, dunque diventano più importanti dati quali la durata e l’ora di inizio della sosta. Questo tipo di approccio è maggiormente focalizzato sulla modellazione della sequenza di attività svolte da una persona nell’arco della giornata e nella loro localizzazione, gli eventuali percorsi seguiti vengono poi demandati a un qualche simulatore microscopico di traiettoria, una volta fornito il punto di partenza e quello di arrivo [3][4].

In questo Rapporto tecnico sono presentate le attività svolte nel corso del primo anno del PTR 2019-2021 che si sono focalizzate principalmente sui dati e la loro analisi:

- il dataset Octo Telematics e la sua pre elaborazione;
- la sua analisi generale;
- l’analisi dei tempi di sosta nel dataset;
- l’individuazione delle abitazioni;
- l’analisi delle soste quotidiane;
- l’approccio di modellazione computazionale per la successiva annualità.

In Appendice è inoltre descritto un breve studio che analizza le particolarità della morfologia della città di Roma.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Il dataset Octo Telematics e la sua pre elaborazione

Il dataset Octo Telematics, utilizzato in questa relazione, contiene i dati GPS memorizzati dalle cosiddette scatole nere installate a bordo di autovetture private da parte di compagnie assicurative. Essi sono forniti in forma anonima, non è quindi possibile risalire alle generalità del proprietario del mezzo. In particolare i dati sono relativi a 150633 veicoli che hanno transitato durante il mese di Maggio 2013 all’interno dell’Area Metropolitana di Roma. Il campione rappresenta dunque circa il 7% di tutto il parco circolante nella zona.

Per ogni veicolo, ad ogni passo temporale, vengono registrate alcune quantità di interesse quali:

- l’identificativo del veicolo,
- la posizione (latitudine, longitudine, qualità del segnale GPS),
- lo stato del motore (accensione, spegnimento o in marcia),
- la velocità e l’orientamento,
- la data e l’ora,
- la distanza percorsa rispetto all’ultima posizione registrata.

La registrazione del dato avviene ogni 2000 metri percorsi quando il veicolo è in marcia oppure ogni 30 secondi, sono inoltre registrate le posizioni in cui avviene un ‘cambiamento di stato’ ovvero lo spegnimento o l’avviamento del motore anche se asincrono rispetto al passo temporale o spaziale.

A partire da questi dati grezzi sono stati identificati i viaggi effettuati da ogni veicolo: un viaggio è definito da una sequenza di dati così organizzati:

1. un’accensione del motore;

2. una sequenza di posizioni con motore acceso;
3. uno spegnimento del motore.

Il viaggio viene considerato come terminato solo se il tempo che intercorre tra lo spegnimento del motore e una sua successiva riaccensione è maggiore di 5 minuti. Le soste di durata inferiore sono ignorate. Il punto in cui il viaggio termina corrisponde a una sosta del veicolo, essa dura fino alla successiva accensione del motore.

Ad ogni viaggio così definito sono state quindi associate le seguenti informazioni:

- posizione iniziale del viaggio,
- posizione finale del viaggio,
- distanza percorsa durante il viaggio,
- tempo impiegato,
- data e orario della fine del viaggio (che coinciderà con l'orario di inizio della sosta),
- durata della sosta.

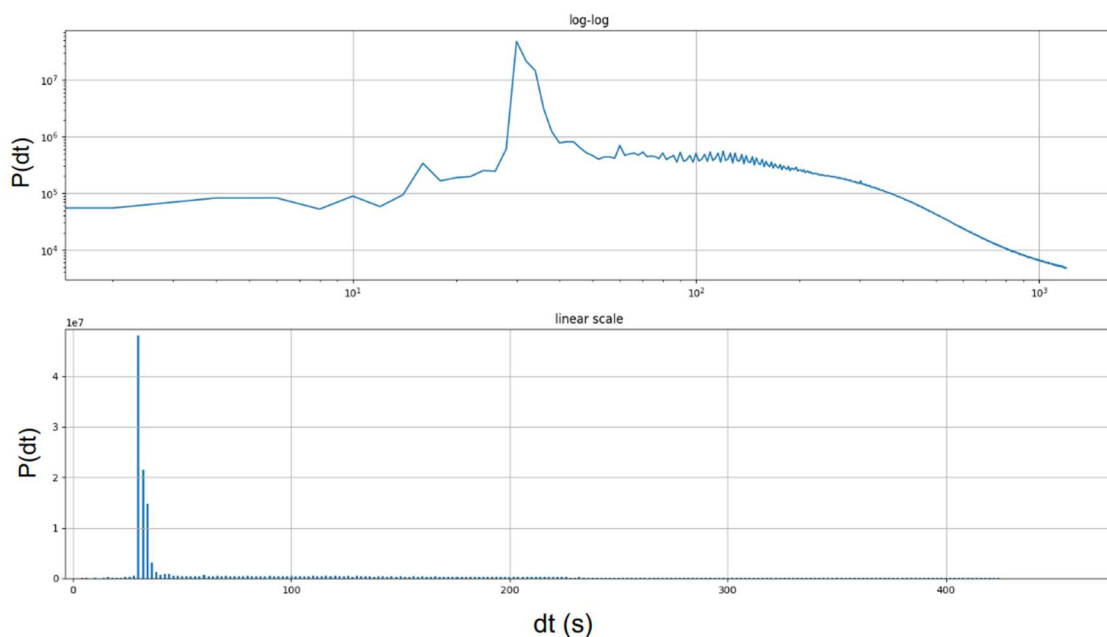
Viaggi per cui non è presente un punto di inizio o di fine (ad esempio veicoli provenienti o diretti al di fuori dell'area di interesse) non sono stati presi in considerazione.

A valle di questa elaborazione sono stati identificati 11901425 viaggi, relativi a 134074 veicoli su un numero totale di veicoli presenti nel dataset pari a 150633.

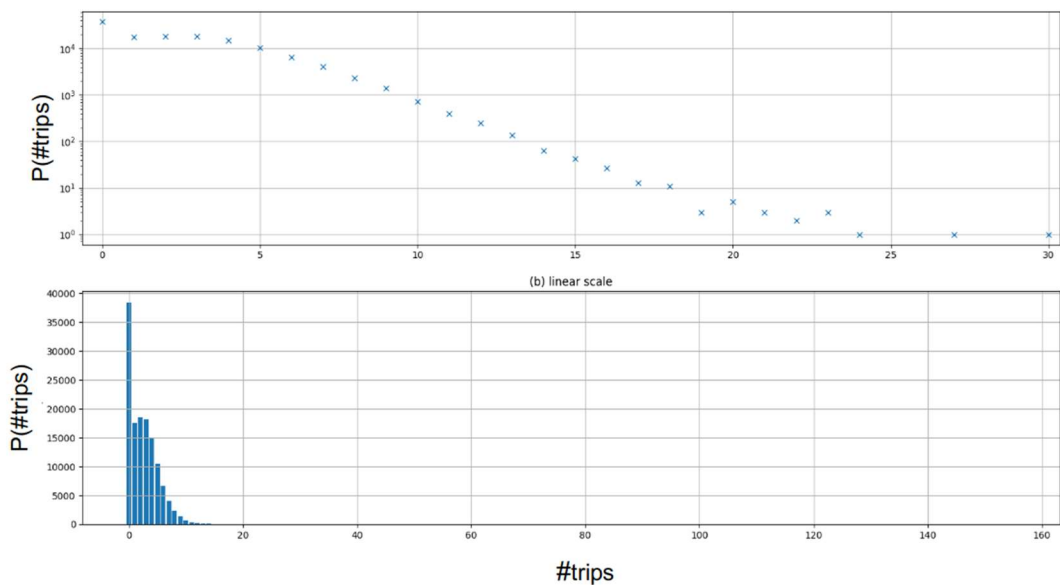
## 2.2 Analisi generale del dataset Octo Telematics

La prima analisi compiuta è stata quella riportata in Figura 1, dove si mostra in scala log-log e lineare la distribuzione degli intervalli di tempo tra un dato ed il successivo nel dataset.

Si nota come i  $dt$  abbiamo un evidente picco intorno ai 30 secondi che corrispondono all'intervallo di campionamento. La presenza di altri intervalli di tempo è dovuta a tempistiche diverse legate all'accensione dell'auto dopo un periodo di sosta (periodi più lunghi) o allo spegnimento prima del successivo campionamento (periodi più corti) o a registrazioni ogni 2000 metri.



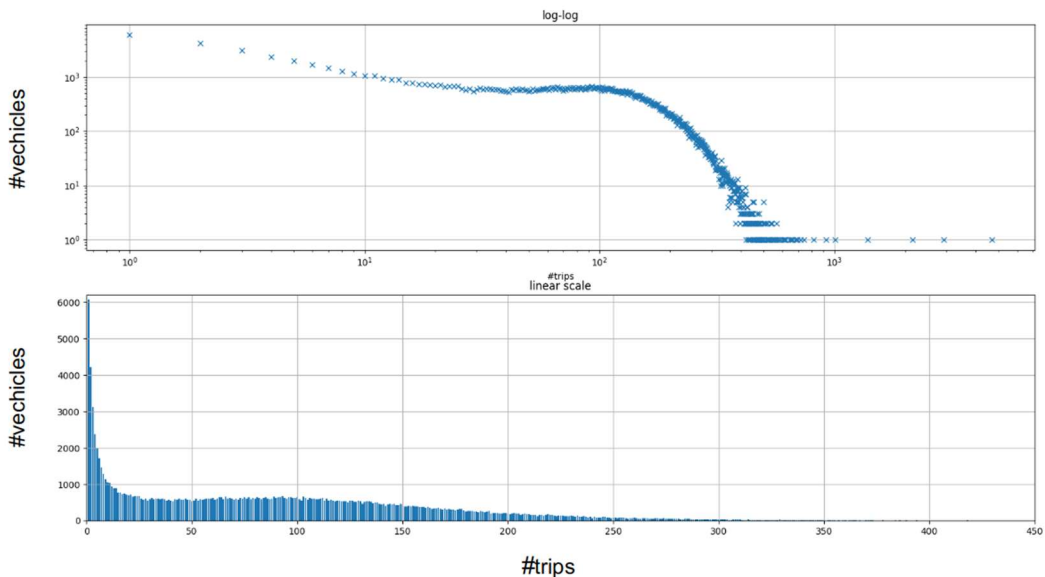
**Figura 1. Distribuzione dei  $dt$  tra un dato e il successivo di tutti i veicoli, dati in secondi**



**Figura 2. Distribuzione del numero di veicoli che effettua n viaggi al giorno**

In Figura 2 è mostrata la distribuzione del numero di veicoli che effettua un dato numero di viaggi al giorno. E' evidente come il numero di viaggi più rappresentato sia inferiore a uno. Nel grafico in alto la rappresentazione semilogaritmica mostra come il numero di veicoli che fanno un dato numero di viaggi decresce esponenzialmente con questo numero.

In Figura 3 è mostrata la distribuzione del numero di veicoli che compiono un dato numero di viaggi nell'arco del mese di maggio 2013.

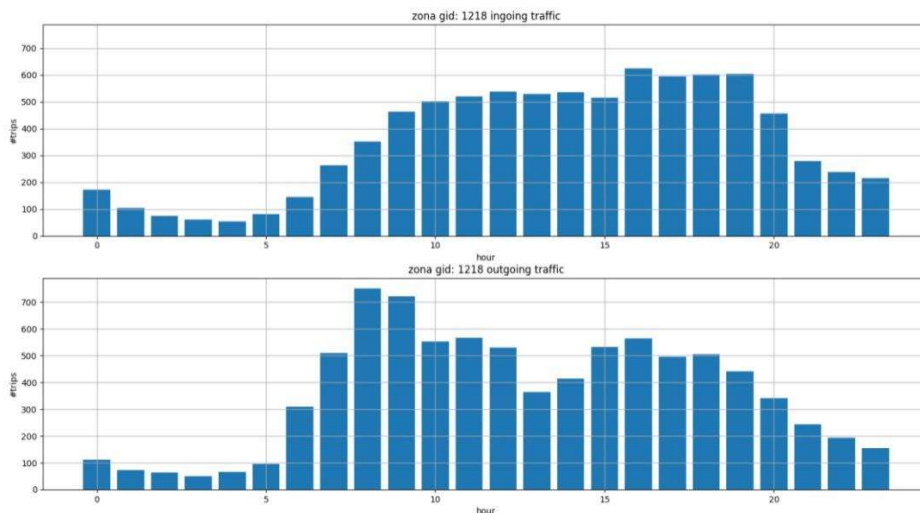


**Figura 3. Distribuzione del numero di veicoli che effettuano un determinato numero di viaggi in tutto il mese**

Si è anche analizzato il dataset per misurare i flussi di traffico tra le varie zone della città. Questo al fine di poter creare le matrici OD, uno degli approcci più utilizzati per la modellazione del traffico cittadino. Le



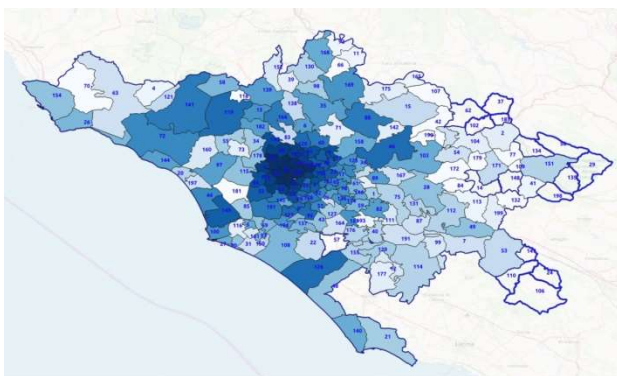
matrici OD, ovvero Origine Destinazione, riassumono i flussi di traffico tra le varie zone di un territorio. Si divide lo spazio in celle secondo un qualche criterio (ad esempio zone censuarie o reticolo geometrico regolare) e si registrano i flussi da una cella verso tutte le altre. Si realizza quindi la matrice OD con cui approssimare statisticamente i flussi nel territorio.



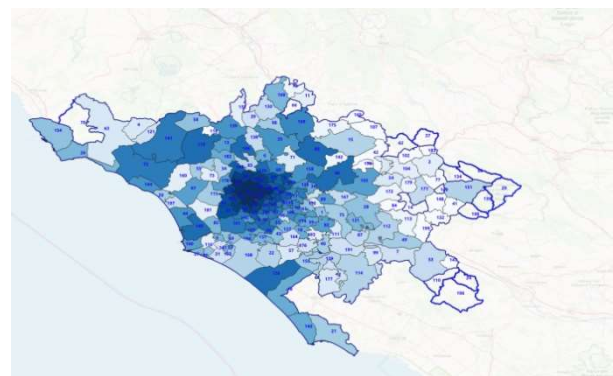
**Figura 4. Numero di viaggi entranti e uscenti dalla zona 1218 (Monte Mario alto) per ogni ora del giorno**

In Figura 4 un esempio di flussi di auto da e per la cella 1218, relativo alla zona di Monte Mario alto, dove sono mostrati i veicoli entranti ed uscenti dalla cella verso qualunque altra cella, nell’arco della giornata. Si può notare come i residenti escano tra le 7:00 e le 9:00 e che, invece, rientrano tra le 16:00 e le 19:00.

Sulla base di questi flussi sono state realizzate le matrici OD. Nella Figura 5, a titolo di esempio, sono mostrate graficamente la riga e la colonna della matrice OD relativa alla zona 45, ovvero il traffico originato nella cella 45 e terminato nelle altre celle e quello originato nelle altre celle e terminato nella 45. Più scuro il colore, maggiore il numero di viaggi.



**Figura 5. Viaggi dalla zona 45**



**Viaggi verso la zona 45**

La zona 45 è quella nel centro del grafico, con il colore più scuro, ad indicare come la maggioranza dei tragitti originati dalla zona 45 risulta essere confinata proprio nella zona 45. Allo stesso modo si opera per tutte le altre zone e si può quindi calcolare la matrice OD che rappresenta il nucleo con cui poi realizzare un modello dei flussi di traffico della città.

In Figura 6 è mostrata la distribuzione dei tempi di viaggio in secondi. Appare evidente come i viaggi compiuti nel dataset sono per la quasi totalità di durata minore di 2 ore e mezza ( $\cong 10^4$  s) ed in particolare minori di 20 minuti ( $\cong 10^3$  s).

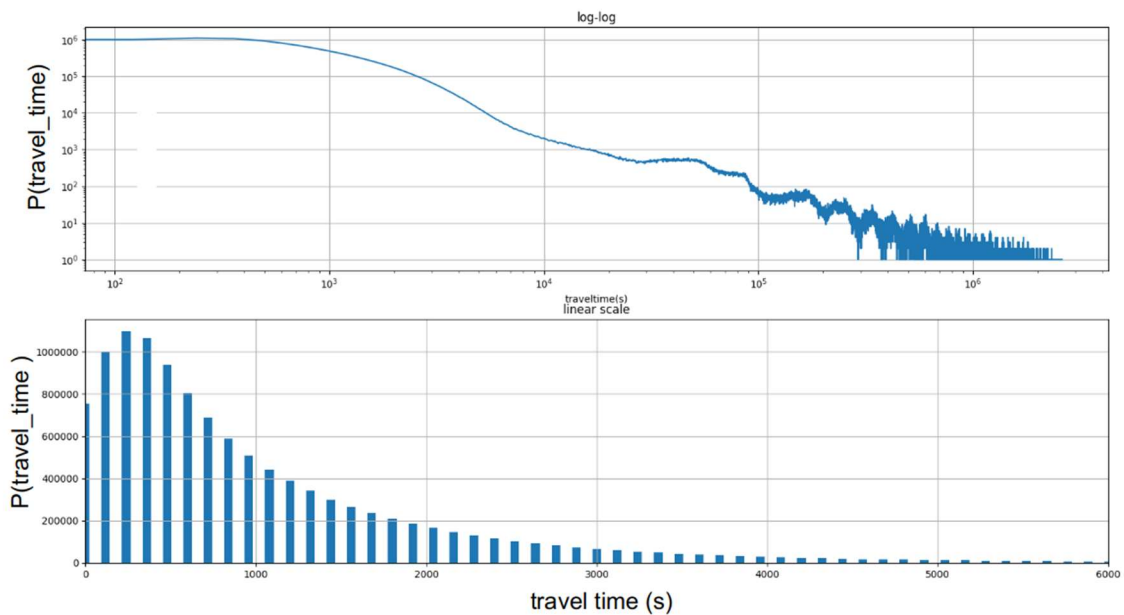


Figura 6. Distribuzione dei tempi di viaggio in secondi

In Figura 7 è invece mostrata la distribuzione delle lunghezze dei viaggi nel dataset in metri. Anche in questo caso la distanza percorsa decresce rapidamente; la maggioranza dei viaggi è di lunghezza minore di 10 km ( $10^4$  m).

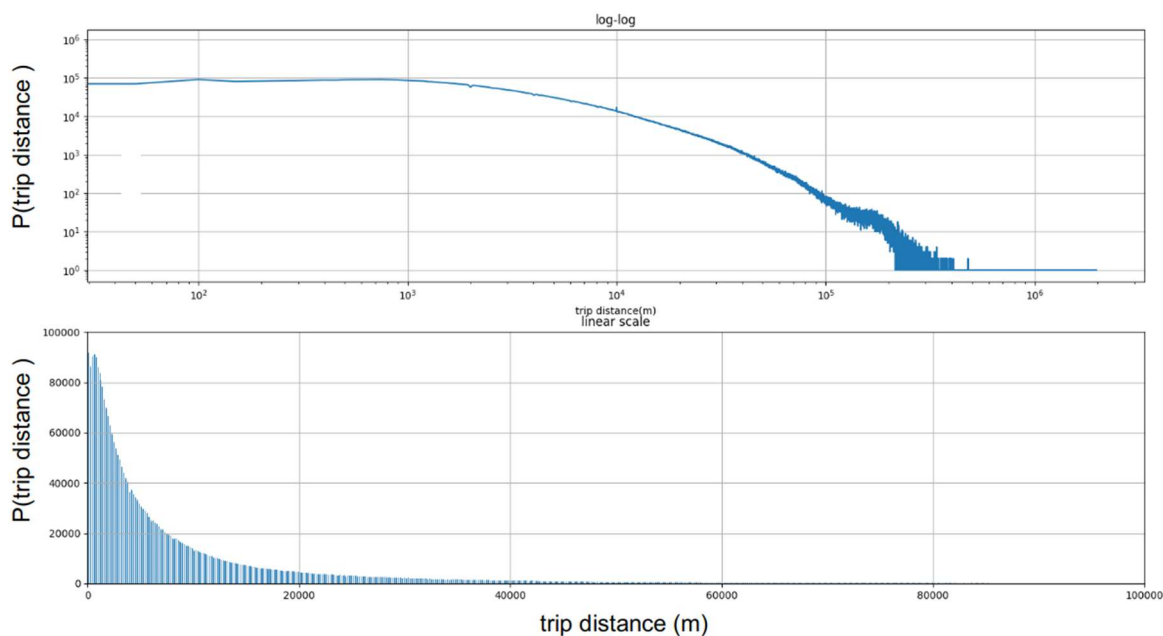
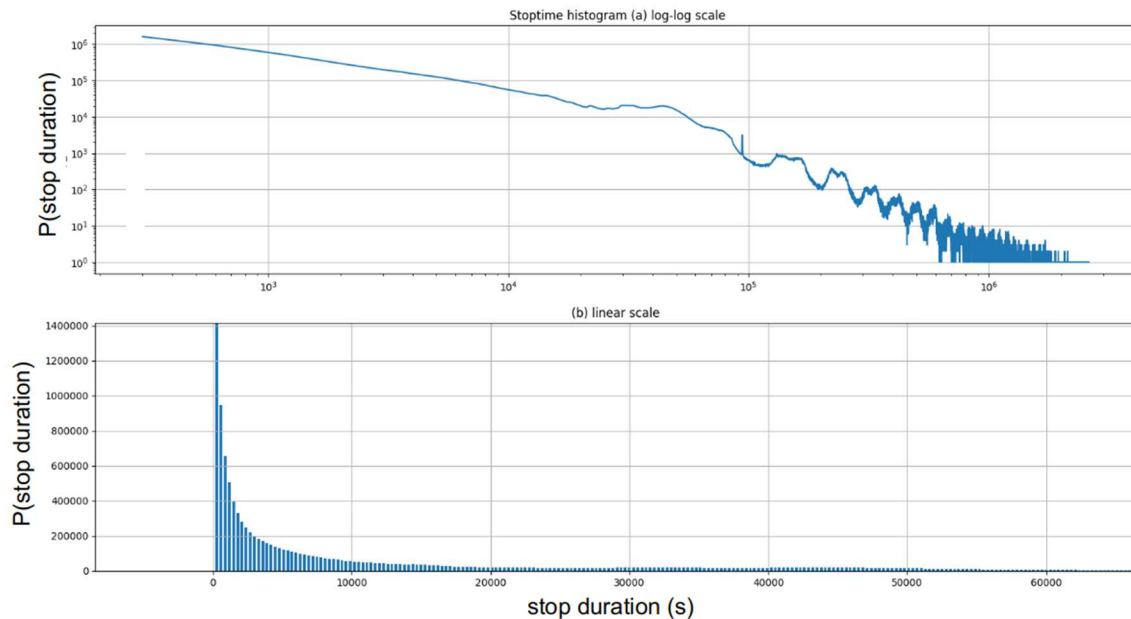


Figura 7. Distribuzione delle lunghezze di viaggio in metri

### 2.3 Analisi dei tempi di sosta

L'analisi dei tempi di sosta nella mobilità delle persone che utilizzano un veicolo è importante ad esempio per approfondire i possibili scenari di ricarica nel caso in cui si verifichi una rapida transizione verso

l'elettrificazione del parco macchine privato attuale. In Figura 8 è mostrata la distribuzione dei tempi di sosta tra viaggi consecutivi del medesimo veicolo.



**Figura 8. Distribuzione dei tempi di sosta tra viaggi consecutivi effettuati dalla stessa vettura**

Ovvero quanti veicoli rimanevano fermi per un dato tempo prima di ripartire per il successivo tragitto. Anche in questo caso sono presenti due grafici: uno log-log ed uno lineare. Dalla Figura 8 si può osservare la periodicità giornaliera nelle soste di lunga durata, ovvero persone che hanno lasciato il veicolo fermo per più giorni (nella coda a destra). Altra interessante osservazione è l'andamento a legge di potenza per lunghezza di sosta minori di  $\sim 10^4$  s (sotto le tre ore), le leggi di potenza sono caratteristiche delle distribuzioni relative alla mobilità urbana, si veda ad esempio 5.

E' visibile la presenza di un massimo relativo intorno a  $4.5 \cdot 10^4$  s, ovvero circa 12 ore: è plausibile spiegare tale picco con la sosta notturna. E' anche evidente come esista una periodicità di 24 ore nella distribuzione dei tempi di sosta a partire dal valore di 12 ore della sosta notturna (12 h, 36 h, 60 h, etc.) spiegabile con soste notturne che si prolungano alle notti successive ad esempio nei fine settimana.

## 2.4 Individuazione delle abitazioni

In Figura 9, nel diagramma lineare, viene mostrato il dettaglio delle soste di lunghezza compresa tra le 10 e le 15 ore (le linee verdi verticali nel diagramma).

Si è ipotizzato che le soste comprese tra 10 e 15 ore rappresentino prevalentemente le soste notturne presso la residenza abituale. Ciò è qualitativamente confermato dall'analisi della distribuzione di tali soste rispetto all'ora del giorno in cui sono iniziate. In Figura 10 sono mostrate le distribuzioni dell'orario di inizio delle soste con diverse durate.

E' possibile notare che le soste di durata compresa tra 10 e 15 ore iniziano prevalentemente tra le 16:00 e le 23:00 (grafico in alto a sinistra) a differenza delle soste di durata più breve (3-5, 3-7 o 3-9) che generalmente iniziano la mattina intorno alle 8:00 o in mezzo alla giornata intorno alle 13:00.

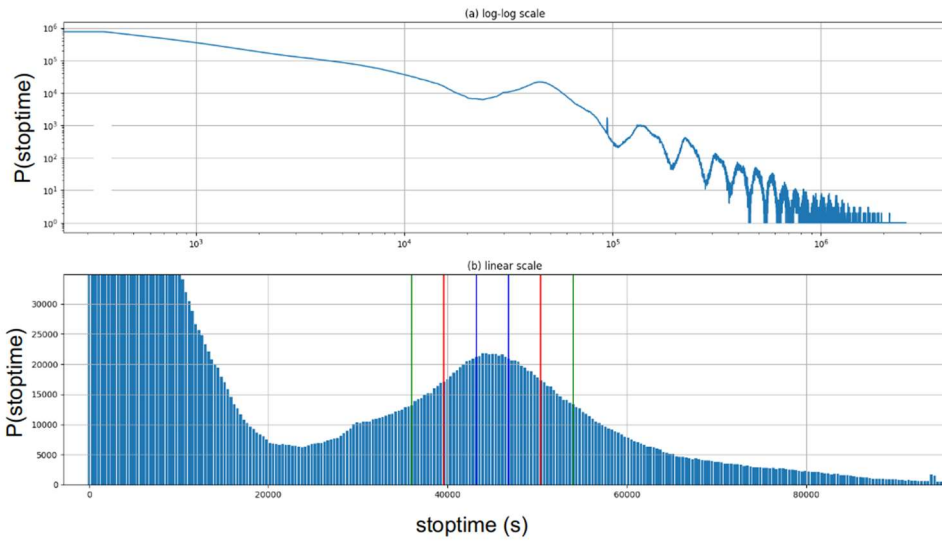


Figura 9. Dettaglio della distribuzione delle soste di durata compresa tra 10 e 15 ore

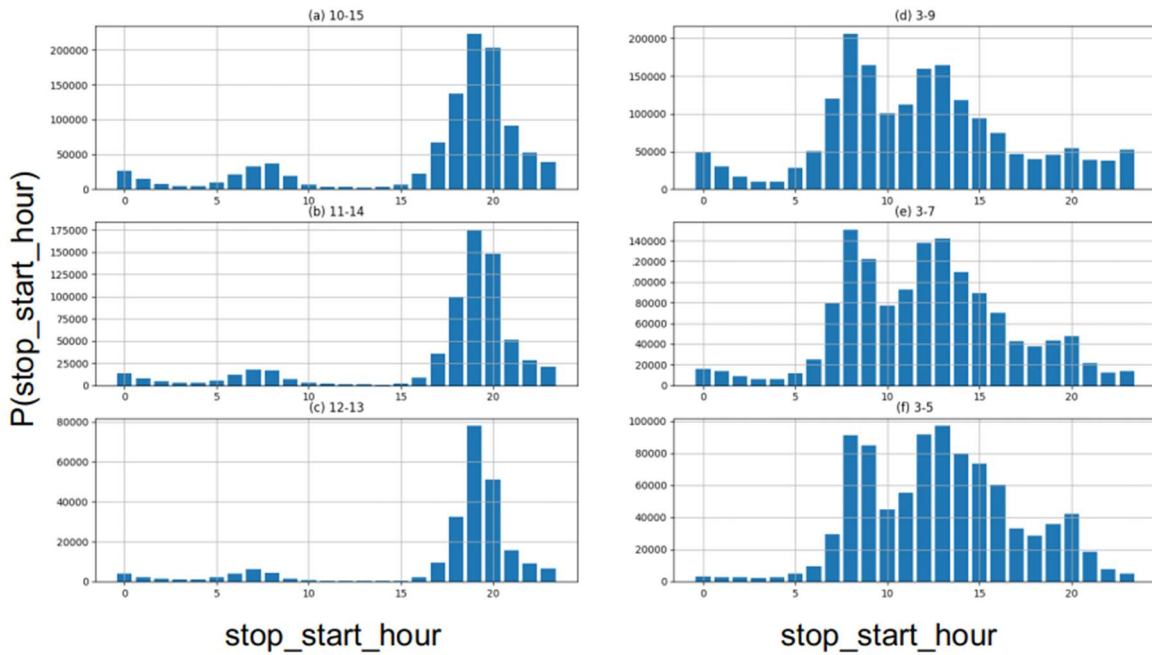
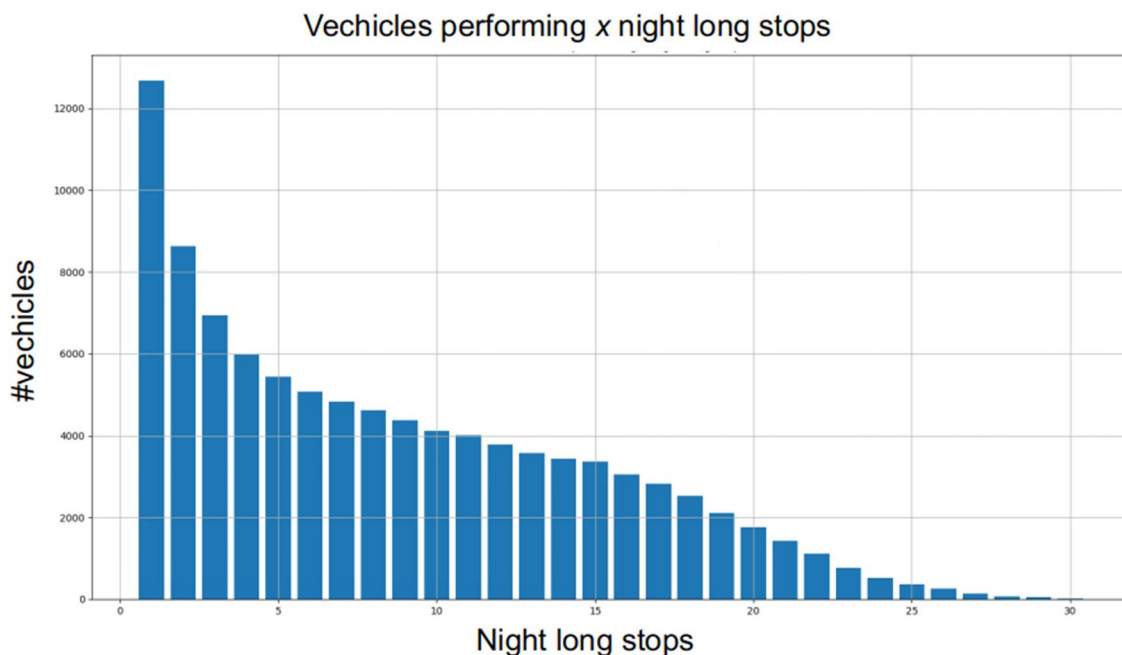
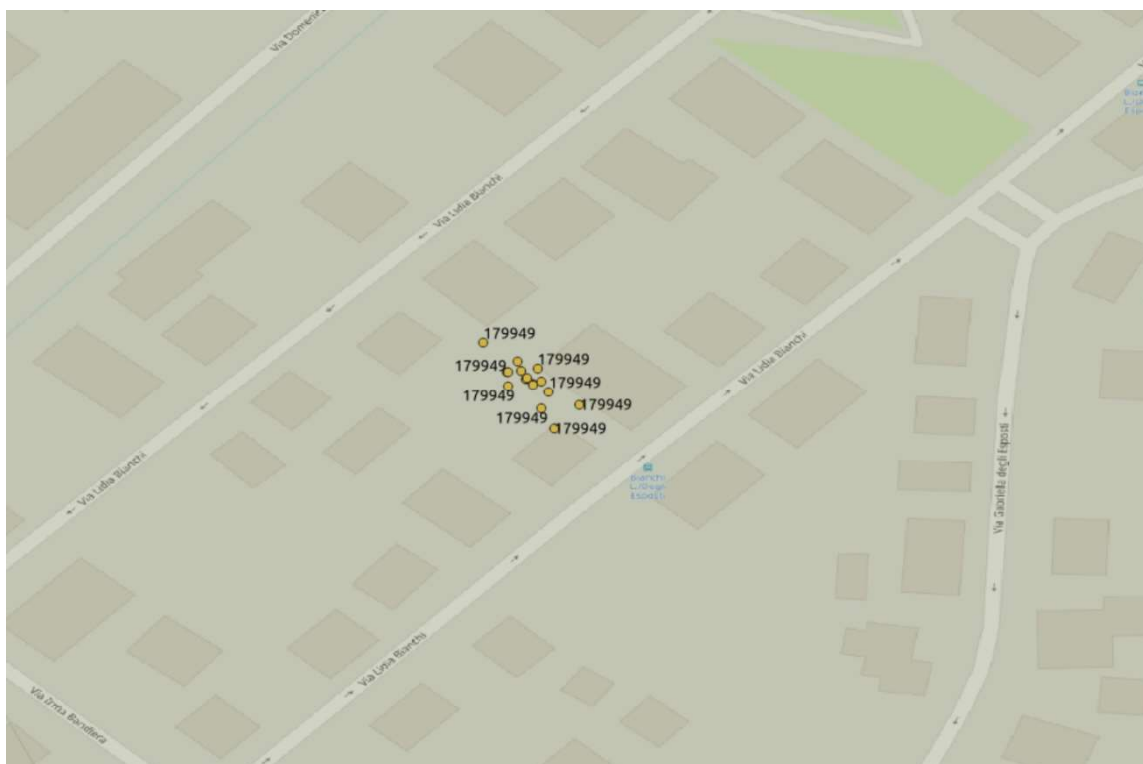


Figura 10. Distribuzione dell'orario di inizio delle soste con durata compresa tra: (a) 10 e 15 ore, (b) 11 e 14 ore, (c) 12 e 13 ore, (d) 4 e 9 ore, (e) 5 e 9 ore, (f) 7 e 9 ore

Nella Figura 11 è mostrata la distribuzione del numero di veicoli che effettuano  $n$  soste notturne con durata compresa tra 10 e 15 ore nell'arco dell'intero dataset. Questo grafico è utile a giustificare l'affidabilità dell'approccio appena descritto per definire le soste presso la residenza, infatti la maggioranza dei veicoli compie almeno 15 soste con queste caratteristiche nel corso del mese.



**Figura 11. Numero di veicoli che effettuano  $n$  soste notturne di durata compresa tra 10 e 15 ore in tutto il dataset (30 gg)**



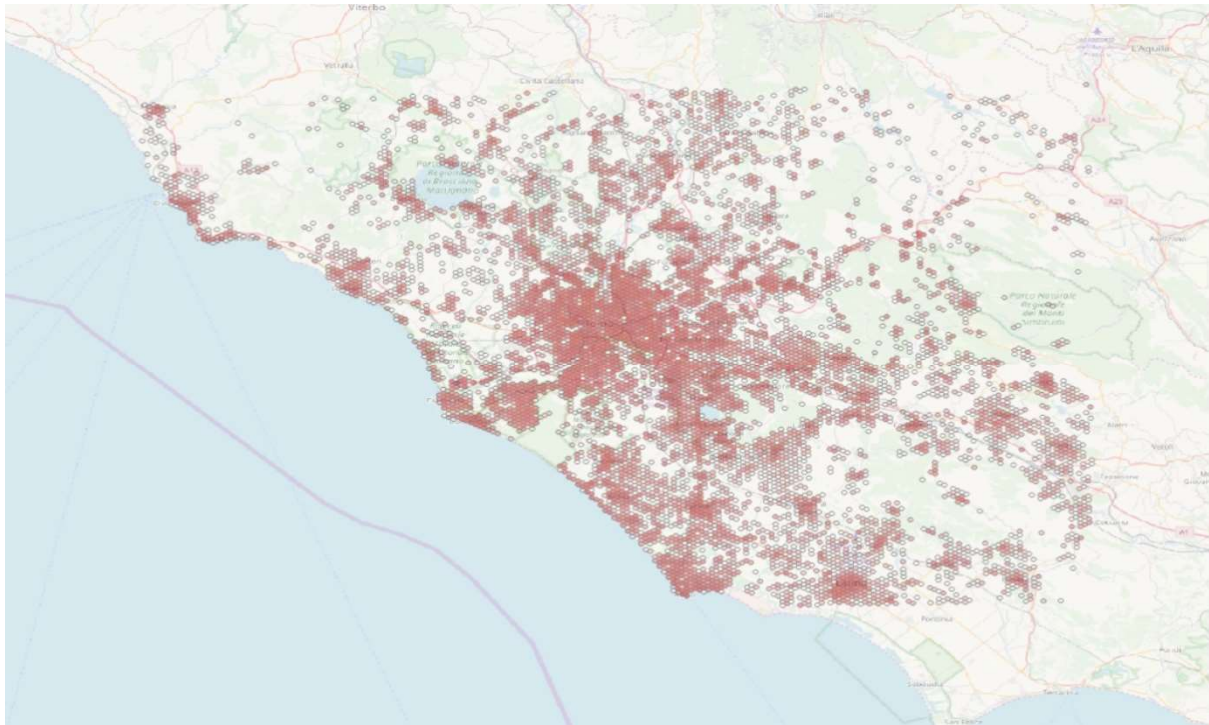
**Figura 12. Soste di durata tra 10 e 15 ore iniziate tra le 16:00 e le 23:00 del veicolo 179949**

Sotto l'ipotesi che le soste con queste caratteristiche di durata e con inizio tra le 16:00 e le 23:00 identifichino l'area di residenza, nel dataset sono state stimate le residenze per un numero di veicoli pari a 97920. A titolo di esempio, in Figura 12 sono mostrate le posizioni spaziali del veicolo con identificativo 179949 nelle soste lunghe notturne, georeferenziate su cartografia Open Street Map, nell'arco del mese. Considerando l'Area Metropolitana suddivisa in una griglia di esagoni con diagonale di ~400m, la residenza del proprietario del veicolo è stata stimata con una media spaziale sulle posizioni di parcheggio del veicolo,



prendendo in considerazione solamente le posizioni presenti all'interno dell'esagono contenente il maggior numero di soste lunghe notturne per il veicolo.

In Figura 13 è mostrato il numero di residenze così determinato per cella esagonale, il colore codifica il numero, più intenso il rosso maggiore il numero.



**Figura 13. Numero di residenze per cella esagonale nell'area della città metropolitana di Roma relativo ai veicoli presenti del dataset Octo Telematics**

I risultati qui ottenuti per le residenze sono stati confrontati con i risultati ottenuti sullo stesso dataset con un algoritmo diverso dai colleghi del Laboratorio ENEA – STMA. Il loro approccio prende in considerazione tutte le posizioni dove il veicolo è fermo tra le 2:00 e le 3:00; dato l'insieme di tali soste ne identifica il cluster più numeroso e calcola la residenza come la media dei punti appartenenti a tale cluster.

**Tabella 1. Distribuzione delle differenze tra le residenze individuate con i due algoritmi**

Distanza (m)	numero
0 - 50	81710
50 - 100	3520
100 - 150	946
150 - 200	470
200 - 250	291
250 - 300	232
300 - 350	146
350 - 400	135
400 - 450	97
...	...

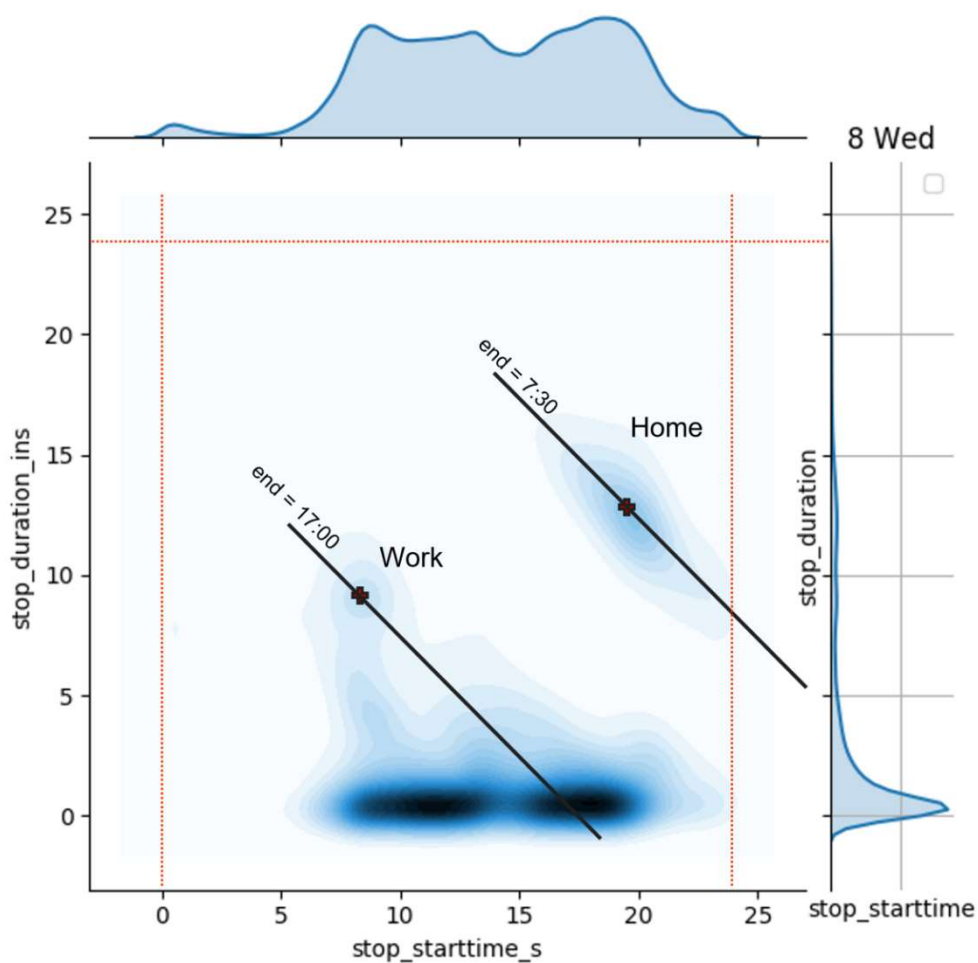
Il confronto ha fondamentale confermato la correttezza dei risultati, infatti la distanza spaziale tra le residenze trovate con i due approcci segue la Tabella 1. L'algoritmo qui presentato ha individuato 97232 residenze mentre l'algoritmo STMA ne ha individuate 113543, tra queste le residenze corrispondenti,

ovvero identificate da entrambi gli algoritmi, sono 94853. Di queste il 91,3% si trovano ad una mutua distanza inferiore ai 200 m.

I casi in cui le residenze non coincidono, sono dovuti alla diversa natura dei due approcci. L'algoritmo del Laboratorio STMA considera tutte le notti in cui il veicolo è stato in una data posizione anche se è rimasto spento per più notti. Qui si considera invece solo le posizioni in cui il veicolo viene spento la sera e riacceso la mattina seguente, quindi un numero sicuramente inferiore.

### 2.5 Analisi delle soste quotidiane

Tutto quanto fin qui esposto è relativo ad un'analisi globale del dataset, che rappresenta la registrazione dell'intero mese di maggio del 2013, i grafici precedenti riguardano quindi una visione integrata del traffico veicolare di Roma.



**Figura 14. Istogramma delle soste di mercoledì 8 maggio 2013. In ascissa l'ora di inizio delle sosta e in ordinata la relativa durata in ore. Le linee tratteggiate rosse delimitano la giornata, l'intensità di colore cresce con il numero di soste**

Come precedentemente detto, esiste un approccio al problema della mobilità che si concentra principalmente sulle soste piuttosto che sulle traiettorie di movimento. Un agente dello scenario del traffico urbano avrà delle necessità di mobilità che saranno quelle in grado di permettergli di compiere alcune attività: ad esempio si dovrà recare in ufficio, dovrà acquistare qualcosa sulla via del ritorno, magari uscire a cena o per un film e, finalmente, rincasare per la notte. In questa prospettiva, al posto dell'analisi delle traiettorie compiute con il veicolo, può essere altrettanto importante analizzare le soste, in termini,

ad esempio, di durata e di orario di inizio della sosta. Questo tipo di approccio si focalizza quindi sulla modellazione della sequenza delle attività svolte da una persona nell'arco della giornata e nella sua localizzazione 34.

La Figura 14 può contribuire a chiarire il concetto.

In essa è mostrato un istogramma bidimensionale delle soste relative a mercoledì 8 maggio 2013, un giorno feriale. In ascissa l'ora di inizio delle soste da 0:00 a 24:00, in ordinate la durata in ore della sosta (0 – 24), l'intensità di colore indica la numerosità di soste con quella coppia inizio-durata. Le linee tratteggiate rosse delimitano la giornata. Sul lato destro e sulla sommità del grafico le due distribuzioni monovariate, rispettivamente soste di data durata e soste con dato inizio.

La Figura 14 presenta almeno tre zone: una approssimativamente lineare sulla parte bassa, un blob sulla parte centrale un po' a sinistra ed un secondo blob sulla parte destra un po' più in alto. Il primo insieme, di gran lunga il più numeroso, è composto da tutte soste di breve durata, minori o uguali a 1 ora, più o meno distribuite uniformemente nell'arco della giornata (in realtà con un evidente diminuzione tra le 14:00 e le 15:00). In quest'insieme si può far ricadere una serie di attività secondarie quali gli acquisti e la spesa, l'accompagnamento dei figli a scuola o simili. Il blob sulla parte destra è approssimativamente centrato su una durata di 12 ore e un inizio di sosta di circa le 19:30, esso è notevolmente meno numeroso del precedente, ma ciò è comprensibile se si considera questo insieme come quello delle residenze, dove le soste sono compiute una sola volta al giorno. Con residenza qui si intende il luogo dove il veicolo è parcheggiato nottetempo per un congruo numero di ore: si può, ad esempio, anche considerare la residenza di un veicolo commerciale quella dove esso è lasciato per la notte. Per aiutare l'interpretazione della Figura 14, è stata tracciata una retta che passa per il centro del blob e che rappresenta il luogo geometrico dei punti che portano al medesimo orario di fine sosta: se si inizia una sosta di 12 ore alle 19:30, essa terminerà l'indomani mattina alle 7:30; la retta rappresenta tutti i punti del grafico che termineranno la loro sosta alle 7:30. Come si vede l'insieme rappresentato dal blob è allungato proprio nella direzione della retta, avvalorando l'ipotesi che si stiano considerando le residenze.

Questo blob delle residenze, a destra in Figura 14, mostra graficamente quanto utilizzato come ipotesi di lavoro nel precedente paragrafo "individuazione delle abitazioni". Per definire un'abitazione si era assunta arbitrariamente una sosta tra le 10 e le 15 ore con inizio tra le 16:00 e le 23:00, ovvero un rettangolo nel grafico di Figura 14; qui è possibile confermare da un lato e, allo stesso tempo, affinare tale assunzione sulla base delle caratteristiche del blob.

Il terzo blob individuato potrebbe essere composto dalle soste relative alle attività lavorative delle persone impiegate 8 ore al giorno (*full time*). Esso, infatti, è centrato approssimativamente sulle ore 8:00 con una durata di circa 9 ore, che porta ad un orario di fine sosta delle 17:00. Anche in questo caso si è disegnata una retta che mostra i punti per i quali la sosta termina alle 17:00.

Questo tipo di analisi è stata ripetuta su tutti i giorni del dataset ottenendo due macro classi di giorni, quelli della settimana lavorativa (lunedì – venerdì) che si comportano come la Figura 14, e quelli festivi e dei fine settimana nei quali il terzo blob, quello relativo agli uffici, scompare, come è possibile vedere in Figura 15 in modo molto evidente nella distribuzione sulla sommità del grafico.

E' molto interessante qui osservare che la Figura 14 è molto simile ad una equivalente riportata in 3, cioè le posizioni e le dimensioni dei tre blob sono praticamente sovrapponibili tra i due lavori. Ciò è intrigante in quanto i dati qui utilizzati sono relativi a tracce GPS di veicoli nella città di Roma, mentre in 3 sono analizzati CDR (Call Data Record) di telefoni cellulari nella Bay Area di San Francisco. Sembrerebbe dunque esserci una sorta di universalità nella mobilità umana indipendentemente dal tipo di dati utilizzati o dalla città oggetto di studio. Altra similarità è rappresentata dal numero di attività medio effettuato nelle due città, ovvero del numero medio di soste, nel nostro dataset si hanno 4.99 soste/giorno e 4.04 soste/giorno rispettivamente nei giorni della settimana lavorativa e in quelli festivi e del weekend, in 3 questi numeri sono 4.4 e 4.0.



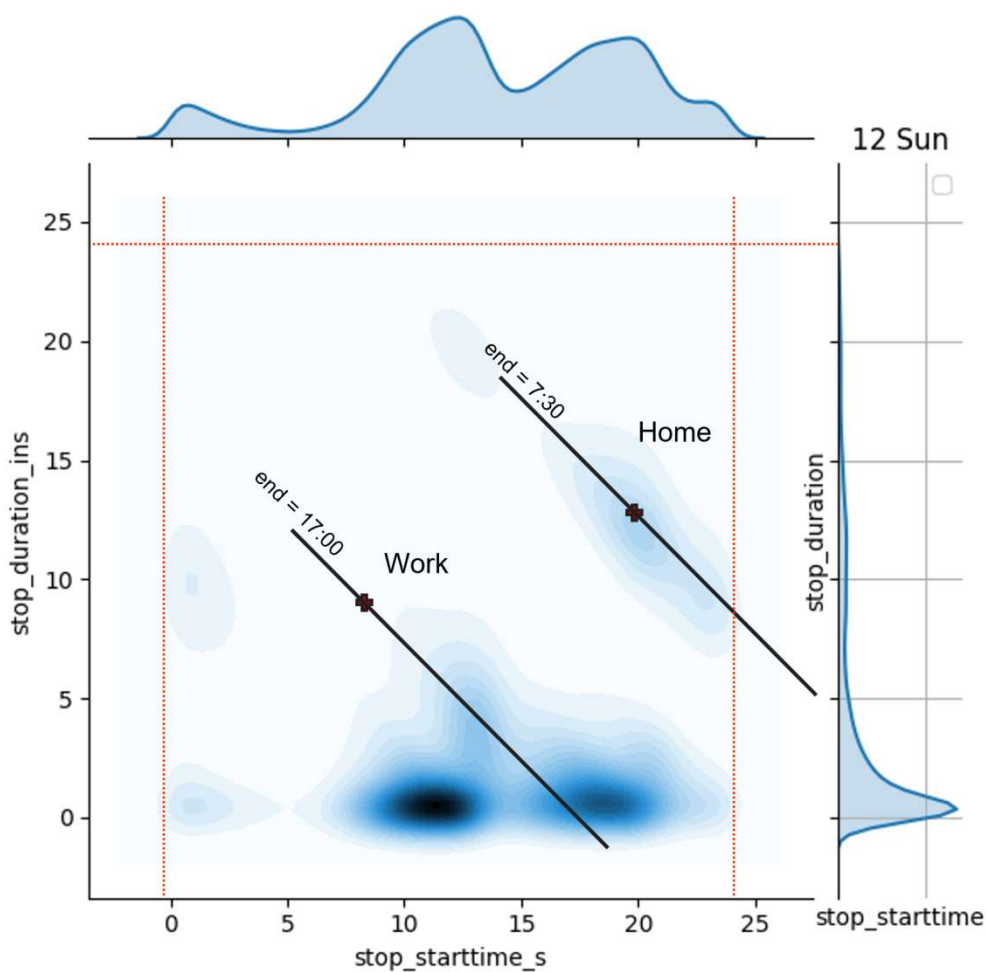


Figura 15. Istogramma delle soste di domenica 12 maggio 2013. In ascissa l'ora di inizio delle sosta e in ordinata la relativa durata in ore. Le linee tratteggiate rosse delimitano la giornata, l'intensità di colore cresce con il numero di soste

## 2.6 Approccio di modellazione computazionale per la successiva annualità

A valle delle attività di analisi del dataset Octo Telematics compiute nella prima annualità del progetto, ci si è concentrati sulla pianificazione dell'approccio teorico volto alla realizzazione di un modello per la domanda di mobilità nella città di Roma. Questa pianificazione passa attraverso tre punti fondanti: il riconoscimento delle attività attraverso le caratteristiche delle soste; l'interpretazione dei viaggi giornalieri come sequenze di attività di classi di utenti coerenti; il disegno di una rete neurale ricorrente ed il suo addestramento tramite le predette sequenze allo scopo di modellare le richieste di mobilità urbana. Questo flusso logico è graficamente mostrato in Figura 16.

### 2.6.1 Riconoscimento delle attività

Come detto nel commento alla Figura 14, è possibile dare per assodata l'esistenza di un insieme che rappresenta le soste notturne presso la residenza; meno certa, ma molto verosimile l'esistenza di un insieme di soste per attività lavorativa *full time*. A partire da qui si intende sviluppare l'analisi delle soste per individuare insiemi coerenti utilizzando i dati disponibili, effettuando clusterizzazioni in base non solo a ora di inizio e durata della sosta, ma anche utilizzando altre variabili quali il giorno della settimana, la locazione spaziale, etc. presenti nel dataset; questa analisi può essere effettuata a valle della rimozione dei dati relativi a residenze e uffici. Inoltre si desidera isolare le soste relative a corrieri espressi o consegne giornaliere, i cui pattern di soste dovrebbero essere più facilmente individuabili, anche allo scopo di poterne studiare le caratteristiche, in future modellazioni mirate al traffico commerciale.

Il prodotto finale porterà ad un riconoscimento delle attività in un certo numero di classi, con un minimo di tre (residenza, lavoro, altro).

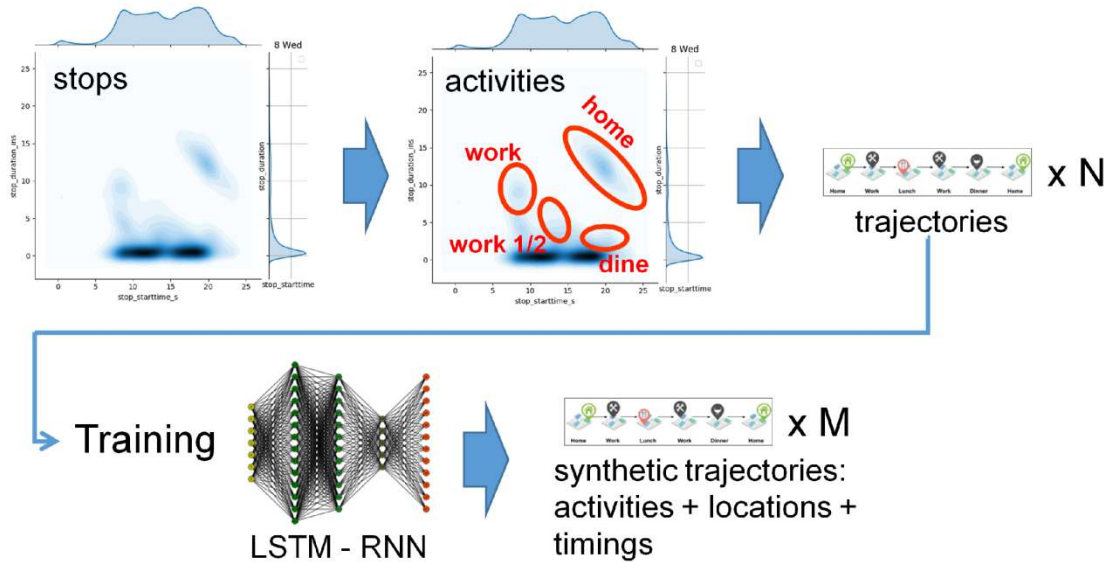


Figura 16. Lo schema logico dell'approccio. L'immagine della traiettoria è tratta da [4]

### 2.6.2 Interpretazione dei viaggi quali sequenze di attività e riconoscimento di classi di utenti

A valle del riconoscimento delle attività, è possibile ricostruire la sequenza di spostamenti di un dato veicolo come una sequenza di attività: ad esempio Residenza – Ufficio – Pranzo – Ufficio – Residenza. Si può quindi compiere un'analisi cercando di raccogliere in classi di utenti con comportamenti simili, ovvero con sequenze simili di attività come ad esempio: impiegato, corriere, casalinga, etc..

### 2.6.3 Generazioni di sequenze di attività

Sulla base delle sequenze di attività individuate si realizzerà una o più Deep Neural Network (DNN) di tipo ricorrente, Long Short Term Memory (LSTM) 6, in grado di modellare le classi di utenti individuate. Queste reti ricorrenti verranno utilizzate per predire la successiva attività comprensiva di locazione spaziale e durata a partire dalla posizione ed attività corrente. In questo modo, utilizzando come attività iniziale la Residenza con delle locazioni spaziali casualmente distribuite nella città (eventualmente pesate con la effettiva densità di popolazione) sarà possibile simulare la sequenza di attività e locazioni posta in essere dai cittadini, giungendo a simulare la domanda di mobilità necessaria ai fini del progetto. L'approccio utilizzato sarà quello delle Mixture Density Networks (MDN) 78 dove la DNN non è chiamata a produrre direttamente i dati di interesse, ma invece fornisce i coefficienti ed i parametri di una combinazione lineare di funzioni di probabilità da cui estrarre i dati di interesse, un approccio che si è rivelato estremamente potente ed efficace.

## 3 Appendice - Sulla morfologia della città di Roma

Uno degli aspetti della morfologia delle città che appare con chiarezza anche ad un'osservazione poco approfondita è l'essere composta da agglomerati altamente irregolari assimilabili ad una struttura amorfa. Questo è il risultato di una urbanizzazione complessa che è stata guidata da fattori fisici, storici e socio economici e ciò è particolarmente evidente nelle città europee, più antiche, mentre in quelle di più recente nascita l'agglomerato urbano risulta generalmente più omogeneo, si pensi al confronto tra Roma e, ad esempio, Phoenix in Arizona. Altro aspetto interessante è rappresentato dallo sviluppo urbano in termini di dimensioni fisiche. In un interessante articolo Marchetti correla la dimensione di una città con la distanza percorribile nel tempo di un'ora [9]. Infatti è possibile osservare come le dimensioni delle antiche città

siano limitate ad un diametro di circa 5 km, si pensi ad esempio alle Mura Aureliane per Roma o alle dimensioni di Venezia; ciò è spiegabile con la velocità tipica di un essere umano, quantificabile in 5 km/h, quindi le dimensioni della città sono tali da permettere un tempo di percorrenza di mezz'ora in un senso ed altrettanto per il ritorno al punto di partenza, per recarsi a compiere le proprie occupazioni e poi rientrare a casa. L'introduzione dei tram a cavalli prima, elettrici poi, omnibus, treni metropolitani e la diffusione capillare delle automobili, ha permesso il crescere degli agglomerati urbani, ma sempre rimanendo con dei tempi di percorrenza di circa mezz'ora a tratta. Questa 'regola' ha perso di validità nei tempi più recenti. Una regola 'temporale' analoga vale anche per gli imperi, con dei tempi scala di 15 giorni dal centro alla periferia (in termini numerici circa 900 km se sono imperi 'a piedi' e 3700 km se 'a cavallo'). Altra osservazione interessante dell'articolo è che il principio unificante a livello globale sia il trasporto piuttosto che la comunicazione; in effetti l'attuale società delle telecomunicazioni permetterebbe scambi dati molto efficienti, ma ciò non sembra aver influito particolarmente sulla richiesta di mobilità da parte degli esseri umani, anzi i due aspetti sembrano procedere di pari passo.

Un agglomerato urbano è governato dagli aspetti fisico morfologici del territorio dove è posizionato: possono esserci fiumi, laghi, colline, speroni rocciosi ed altro che in generale rendono difficoltosa la costruzione di edifici. A ciò va aggiunta la tendenza ad espandere l'edificato lungo le principali strade di comunicazione e il desiderio di mantenere delle aree verdi per i cittadini. Le città, quindi, spesso mostrano un aspetto poco omogeneo e con una distribuzione spaziale composta da aggregati a diverse scale. Usualmente le misurazioni che si effettuano sulle aggregazioni urbane sono misurazioni medie, in termini di popolazione media, flussi medi di traffico, etc., considerando invece le loro caratteristiche di non omogeneità, è possibile analizzare con l'approccio della geometria frattale [10] una struttura urbana, si veda a tale proposito [11] e [12].



Figura 17. Frattali naturali: un fiocco di neve ed un broccolo romanesco

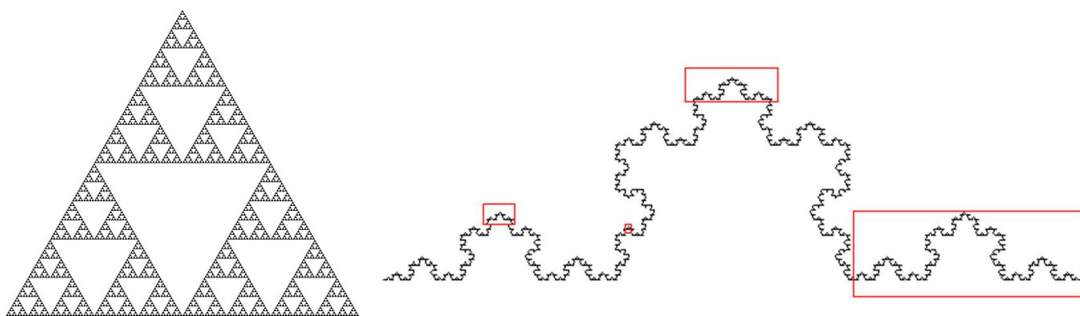


Figura 18. Frattali geometrici: il triangolo di Sierpinski e la curva di Koch con evidenziata la self similarità

Un insieme frattale può essere definito come un insieme self simile non omogeneo. Per self simile si intende un insieme che è distribuito spazialmente nello stesso modo indipendentemente dalla scala alla quale lo si osserva: un tipico esempio è quello del fiocco di neve, se lo si osserva nella sua interezza, esso presenta una struttura esagonale, che si ritrova osservando ad esempio uno dei bracci che lo compongono, oppure il broccolo romanesco (vedi Figura 17); esempi geometrici possono essere il triangolo di Sierpinski o la curva di Koch (Figura 18). La seconda parte della definizione (circa la non omogeneità) serve ad escludere gli insiemi 'normali': se distribuisco dei punti in modo omogeneo in un quadrato e poi lo osservo ad una scala più piccola, vedrò ancora un insieme omogeneo con la medesima densità media, questo però non sarà un insieme frattale. Un insieme omogeneo è distribuito secondo la dimensionalità dello spazio in cui è immerso: 1 lineare, 2 planare, 3 tridimensionale.

In termini matematici un frattale è caratterizzato da una funzione di distribuzione descritta da una legge di potenza con esponente non intero, infatti se si compie una trasformazione di scala (es:  $x \rightarrow \lambda x$ ) la distribuzione cambierà con:

$$x^\alpha \rightarrow (\lambda x)^\alpha = \lambda^\alpha x^\alpha$$

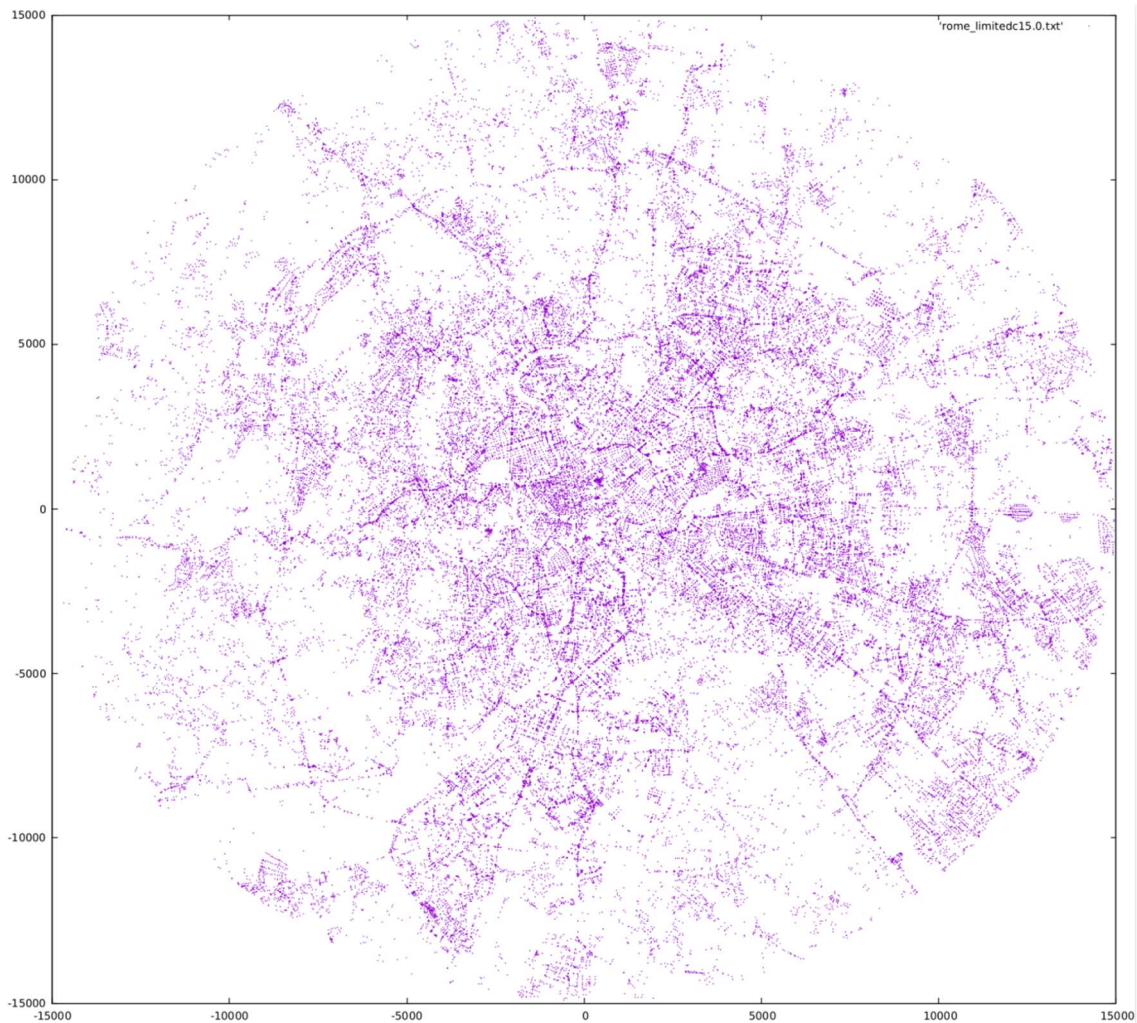
Questo descrive matematicamente il concetto di self similarità: la distribuzione sarà sempre la medesima legge di potenza con il medesimo esponente, ma con un coefficiente moltiplicativo diverso, legato alla densità media a questa scala.

Naturalmente l'insieme frattale è immerso in uno spazio euclideo di una qualche dimensione che lo contiene, quindi la dimensione dell'insieme sarà minore di quella dello spazio in cui è immerso. Un'analogia per chiarire il concetto: un foglio di carta è un oggetto a due dimensioni immerso in uno spazio a tre dimensioni; se si appallottola il foglio, è indubbio che esso occuperà una porzione di spazio tridimensionale, pur essendo bidimensionale. Questo può essere un esempio di insieme frattale che possiede una dimensionalità superiore alla sua natura (2D), ma che non arriva ad essere della dimensionalità dello spazio che lo contiene (3D), infatti il foglio appallottolato non arriverà ad occupare densamente lo spazio. In termini matematici un insieme frattale è dunque un insieme che si distribuisce secondo una legge di potenza con un esponente non intero (frazionario  $\rightarrow$  frattale) minore di quello dello spazio euclideo in cui è contenuto. Esempi in natura, oltre al fiocco di neve, sono numerosissimi: dalle coste della Bretagna (o di qualunque altra regione) che hanno misure diverse al variare del regolo con cui le si misura, ai fenomeni di accrescimento dendritico; dalle scariche elettriche nei dielettrici alla distribuzione delle galassie e dei cluster di galassie nell'Universo.

Tornando alla città di Roma, le analisi sulla sua geometria sono state condotte utilizzando un data base contenente, tra l'altro, le posizioni in termini di latitudine e longitudine di tutti gli incroci stradali della città e della provincia. Gli incroci sono qui considerati come dei *proxy* degli edifici, in quanto ogni edificio è usualmente servito da strade ed incroci, inoltre è comunque di interesse misurare l'eventuale disomogeneità della rete stradale urbana. Per analizzare, dunque, l'eventuale frattalità della città di Roma è necessario misurare la distribuzione spaziale di tali punti, il numero totale di incroci presenti nel data base è di 178578. Per semplicità in tale calcolo è stata ignorata l'altitudine del punto, ovvero si sono misurate le caratteristiche spaziali dell'insieme degli incroci in uno spazio bidimensionale euclideo (approssimando anche la Terra con il piano ad essa tangente passante per il centro di Roma).

La misurazione della dimensione frattale di un insieme può essere compiuta utilizzando diversi metodi: se l'insieme è artificiale ed è stato costruito tramite una legge (es. insieme di Cantor o insieme di Sierpinski) è facile risalire alla dimensionalità dell'insieme sfruttando la regola di costruzione [10], altrimenti, se l'insieme è naturale e quindi stocastico, è necessario l'uso di funzioni di autocorrelazione, algoritmi quale il 'box counting' o lo studio dell'andamento del numero di oggetti in funzione della distanza [13].





**Figura 19. L'insieme degli incroci stradali di Roma limitati a 15 km dal Campidoglio**

Per prima cosa l'insieme è stato ristretto agli incroci all'interno di un dato raggio dal centro di Roma. Il centro utilizzato è rappresentato da piazza del Campidoglio. Si è scelto di misurare il numero di incroci a partire dal Campidoglio in funzione del raggio fino ad una distanza di 15 km, ben oltre il GRA (Grande Raccordo Anulare) che si trova ad una distanza di circa 9 km dal Campidoglio, in Figura 19 è mostrato tale insieme.

Una prima valutazione quantitativa è mostrata in Figura 20 dove è visibile l'andamento del numero di incroci in funzione della distanza dal Campidoglio, misurata semplicemente come conteggio degli incroci all'interno di un data circonferenza. E' possibile osservare:

- nel diagramma è evidente che il numero di incroci cresce linearmente oltre i 90 metri, quindi, essendo il diagramma log-log, la funzione è una legge di potenza;
- è altresì evidente che il tasso di crescita degli incroci ha due distinti valori, più alto entro i circa 9 km e più basso oltre: il GRA rappresenta il confine tra le due zone a diversa densità di urbanizzazione;
- la misura approssimata per la dimensione frattale è di circa 1.74 rispetto a uno spazio bidimensionale, ovvero esiste una carenza di incroci rispetto ad una distribuzione omogenea che crescerebbe con il quadrato della distanza.

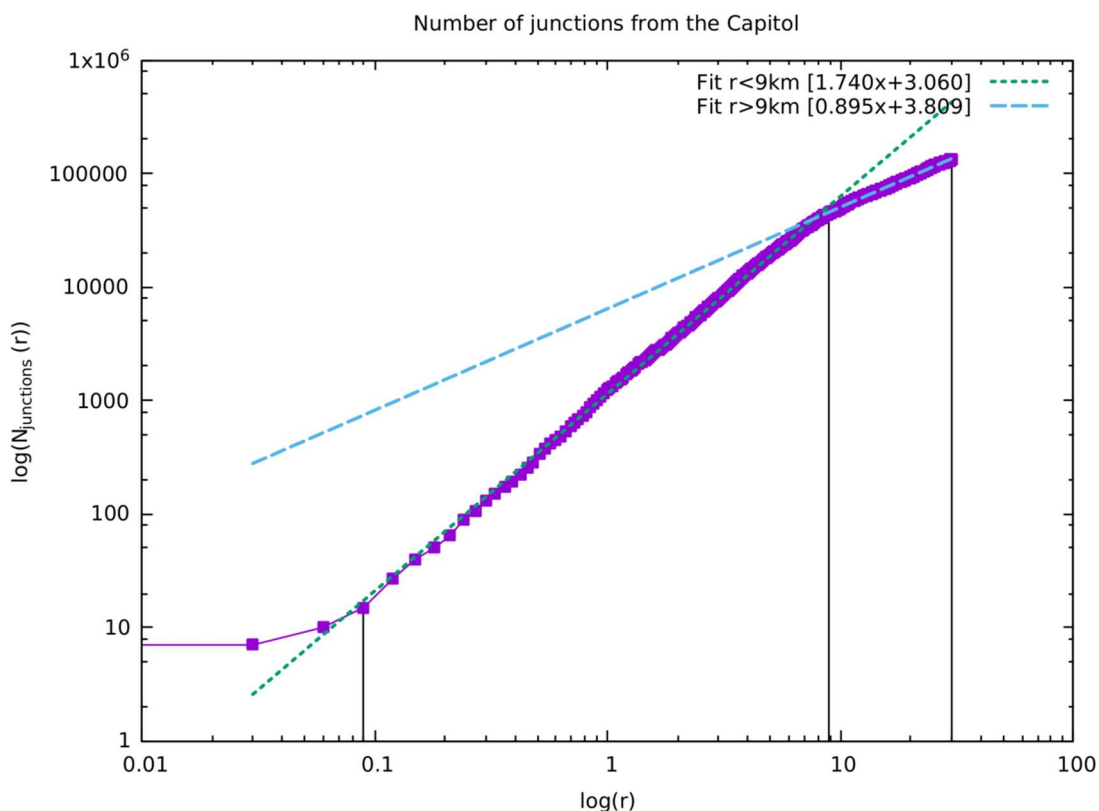
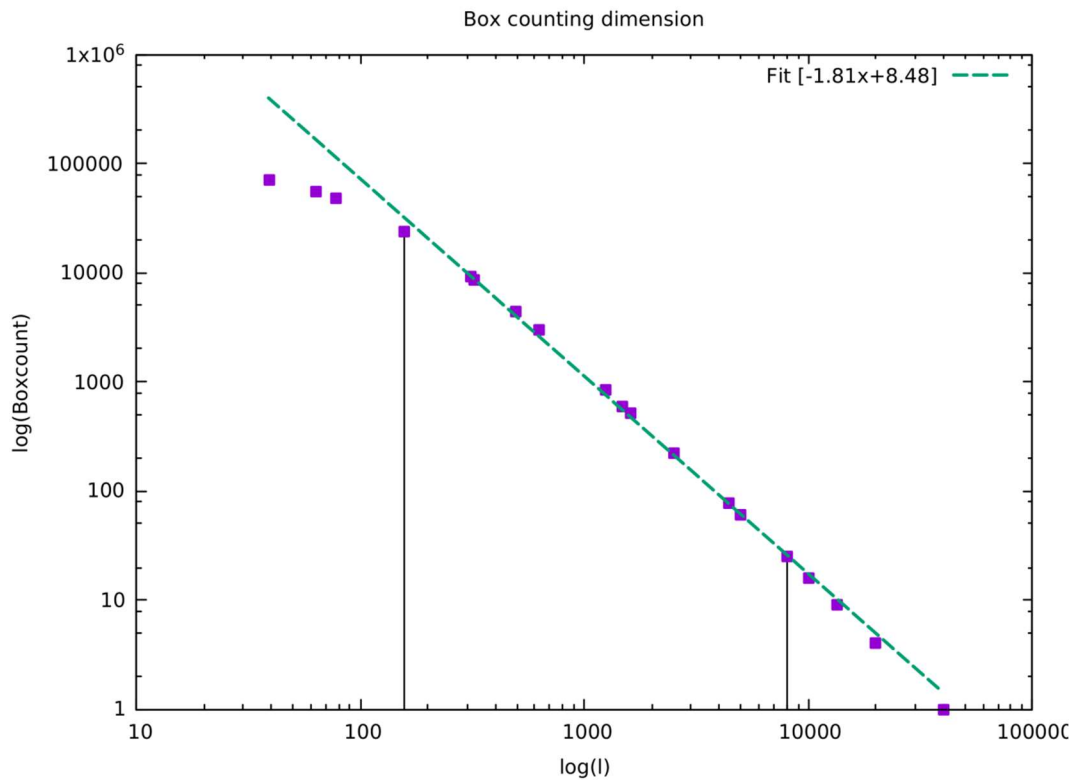


Figura 20. I numero di incroci in funzione della distanza dal Campidoglio in km

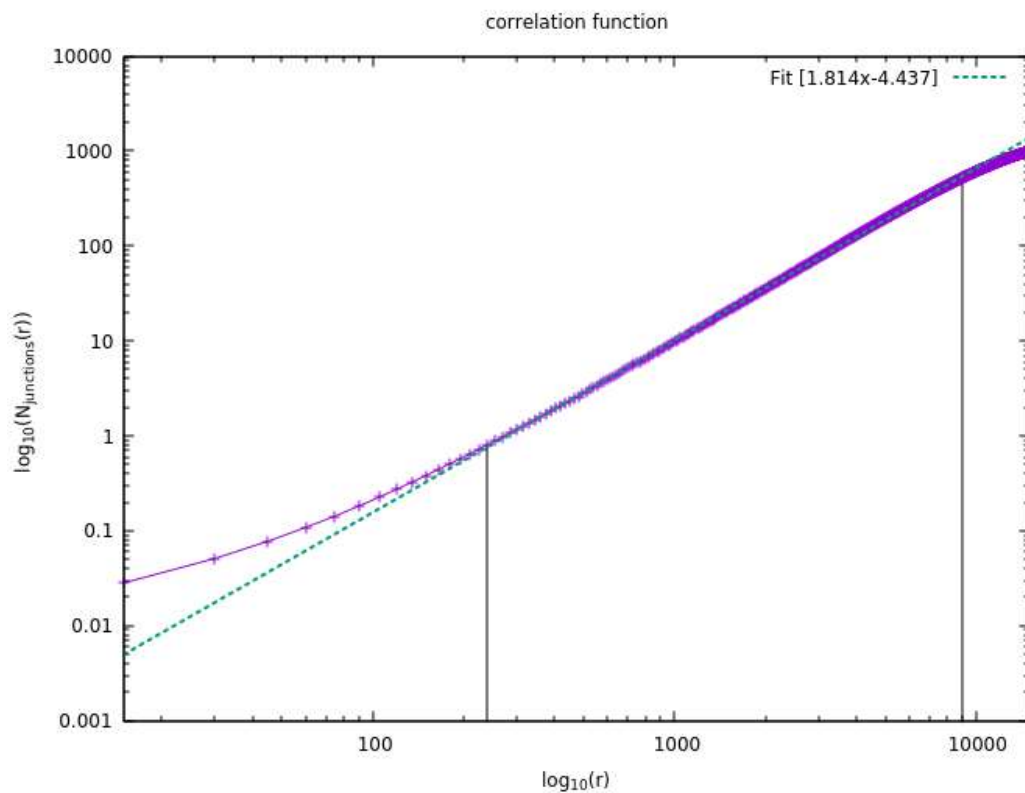
Dopo questa prima misura approssimata si sono utilizzati due metodi più precisi per la stima della dimensione frattale di Roma, l’algoritmo di *box-counting* e la misura della funzione di correlazione media. Il primo misura lo *scaling* frattale, l’insieme da misurare viene ricoperto da una griglia di *box* di dimensioni via via decrescenti e si misura il numero di *box* ( $N(L)$ ) che contengano almeno un punto dell’insieme in funzione del lato  $L$  del *box* stesso. Graficando in scala doppio logaritmica  $N(L)$  in funzione di  $L$ , se la relazione è una legge di potenza, la pendenza della retta rappresenta la dimensione frattale dell’insieme sotto studio a meno del segno. In pratica è un procedimento equivalente alla misura di una costa utilizzando un regolo campione via via più piccolo, citato in [10].

Il secondo metodo fornisce la misura media dell’andamento del numero di punti dell’insieme con la distanza come misurato da ciascuno dei punti dell’insieme, in altre parole la funzione di autocorrelazione media.

I risultati sono in Figura 21 e Figura 22, il fit lineare dell’algoritmo di *box counting* tra 150 metri e 8 chilometri fornisce come dimensione frattale circa 1.81, quello sulla funzione di autocorrelazione media tra 300 metri e 9 chilometri un esponente frattale di 1.814, i valori misurati con i due algoritmi sono in ottimo accordo.



**Figura 21. Box counting. Numero di box con almeno un incrocio in funzione delle dimensioni del box**



**Figura 22. Funzione di autocorrelazione media su tutti gli incroci**

Da queste misure possiamo trarre la conclusione che Roma, come moltissime altre città ha una morfologia frattale. Le ragioni di ciò sono da ricercarsi nelle modalità in cui una città cresce, che mettono in opera inconsapevolmente le caratteristiche tipiche di un insieme frattale. Esso, infatti, è il risultato di un processo

stocastico non markoviano, ovvero di un processo con memoria. I processi markoviani, al contrario, sono processi aleatori con probabilità di transizione che si basa unicamente sullo stato al passo temporale precedente (es. *random walk*). La costruzione di una città, più specificatamente della sua struttura viaria, è certamente un processo non markoviano, infatti nel momento in cui una strada viene aggiunta alla struttura urbana essa è appunto aggiunta, il processo ha memoria di quanto è accaduto nei passi precedenti, è infatti raro che una strada venga a cancellarne un'altra; è un processo che ricorda molto da vicino l'accrescimento dendritico in metallurgia, tipico esempio di struttura frattale. E' quindi facilmente comprensibile come una città possa rivelare una morfologia frattale, ciò implica una struttura self similare: fluttuazioni di pieni (i palazzi) e di vuoti (i cortili, le piazze, i parchi) che hanno la stessa distribuzione su diverse scale. Roma con una dimensione frattale di circa 1.81 evidenzia come all'interno del GRA lo spazio utilizzabile sia praticamente terminato (a meno di cementificare le ville storiche).

In conclusione la città di cui si desidera modellare il traffico ha una struttura che non è omogenea, rimane quindi aperta la questione se le caratteristiche particolari della distribuzione degli itinerari del traffico urbano [1] sia dovuta alla struttura non omogenea dello spazio in cui si muovono i veicoli (le strade) oppure se è legata alle caratteristiche degli utenti della strada e alle loro scelte e strategie, come spesso i modelli assumono.

## 4 Conclusioni

Le attività del primo anno di progetto si sono concentrate sull'analisi dei dati a disposizione allo scopo di prendere confidenza con essi ed individuare gli aspetti più utili alla loro modellazione con lo scopo di realizzare poi un modello della domanda di traffico nella città di Roma nelle annualità successive. Le attività si sono articolate negli aspetti della pre elaborazione del dataset Octo Telematics, della sua analisi generale, dell'analisi delle soste nel loro complesso e a livello quotidiano, si è studiata l'individuazione delle abitazioni, intese come la locazione spaziale media dove i veicoli passano la notte. Risultato finale delle attività è stata la definizione di un approccio innovativo alla modellazione della domanda di traffico basato su reti neurali profonde, che sarà oggetto delle attività della seconda annualità.

Questo approccio individua una o più reti neurali che si addestrano sulle sequenze di attività derivabili dal dataset Octo Telematics al fine di poter creare delle sequenze sintetiche che però posseggano le medesime caratteristiche statistiche dell'insieme di addestramento.

In Appendice uno studio sulla morfologia di Roma che ne mostra la disomogeneità frattale e che pone il problema se le caratteristiche peculiari delle distribuzioni degli itinerari nel traffico sia dovuta allo spazio non omogeneo dove essi sono compiuti o se invece siano espressione delle scelte e strategie degli utenti della strada.

## 5 Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Gaetano Valenti per aver contribuito a descrivere il posizionamento delle attività qui esposte nell'ambito del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 nel Progetto di aggiornamento della Piattaforma di supporto allo sviluppo della e-mobility urbana di passeggeri e merci, afferente al Workpackage 'Mobilità' (WP2).

## 6 Riferimenti bibliografici

1. Alessandretti, L., Sapiezynski, P., Lehmann, S., & Baronchelli, A. (2017). Multi-scale spatio-temporal analysis of human mobility. PLOS ONE, 12(2), e0171686. [doi.org/10.1371/journal.pone.0171686](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171686)



2. Barbosa, H., Barthelemy, M., Ghoshal, G., James, C. R., Lenormand, M., Louail, T., ... Tomasini, M. (2018). Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, 734, 1–74. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.01.001>
3. Yin, M., Sheehan, M., Feygin, S., Paiement, J.-F., & Pozdnoukhov, A. (2018). A Generative Model of Urban Activities from Cellular Data. *IEEE Transactions In ITS*, 19 (6), 1682–1696. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2695438>
4. Lin, Z., Yin, M., Feygin, S., Sheehan, M., Paiement, J.-F., Research, A., & Pozdnoukhov, A. (2017). Deep Generative Models of Urban Mobility. *Proceedings Of ACM SIGKDD Conference, Halifax, Nova Scotia, Canada, August 13-17, 2017 (KDD'17)*, 9. <https://doi.org/10.475/123>
5. Han, X. P., Hao, Q., Wang, B. H., & Zhou, T. (2011). Origin of the scaling law in human mobility: Hierarchy of traffic systems. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 83(3), 3–6. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.83.036117>
6. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
7. Graves, A. (2013). Generating Sequences With Recurrent Neural Networks. 1–43. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1308.0850>
8. L Bazzani, L., Larochelle, H., Torresani, L. (2017). Recurrent mixture density network for spatiotemporal visual attention, presented at the International Conference on Learning Representations ICLR 2017. ArXiv, abs/1603.08199.
9. Marchetti, C. (1994). Anthropological Invariants in Travel Behaviour. *Techn. Forecasting and Social Change*, 47, 75–88.
10. Mandelbrot, B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman and Co, ISBN 0-7167-1186-9.
11. Frankhauser, P. (1990). Aspects fractals des structures urbaines. *Espace Geographique*, 19–20(1), 45–69. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1990.2943>
12. Frankhauser, P. (2006). Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2(2), 127–145. <https://doi.org/10.1155/s1026022698000107>
13. Sylos-Labini, F., Montuori, M., & Pietronero, L. (1998). Scale-invariance of galaxy clustering. *Physics Reports*, 293, 61–226. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(97\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(97)00044-6)

## 7 Abbreviazioni ed acronimi

**CDR** Call Data Record, dati di chiamata con un telefono cellulare, comprensivi di posizione dell'antenna

**GPS** Global Positioning System, sistema satellitare per la localizzazione

**PTR** Piano Triennale di Realizzazione, il piano che attua le indicazioni della Ricerca di Sistema Elettrico

**OD** matrice OD Origine – Destinazione, rappresentazione in forma matriciale dei flussi di traffico tra zone in cui è divisa la città

**DNN** Deep Neural Network, reti neurali profonde, classe di algoritmi basati su di una rete a molti strati sovrapposti che si ispira alla funzionalità neuronale

**LSTM** Long Short Term Memory, tipo di rete neurale ricorrente ovvero con feedback molto utilizzata nella generazione di sequenze

**MDN** Mixture Density Network, approccio dove la rete neurale non produce direttamente degli output, ma i parametri che regolano una combinazione lineare di densità di probabilità a partire dalla quale ottenere poi il valore di uscita

## 8 Elenco delle figure

Figura 1. Distribuzione dei dt tra un dato e il successivo di tutti i veicoli, dati in secondi.....	7
Figura 2. Distribuzione del numero di veicoli che effettua n viaggi al giorno .....	8
Figura 3. Distribuzione del numero di veicoli che effettuano un determinato numero di viaggi in tutto il mese .....	8
Figura 4. Numero di viaggi entranti e uscenti dalla zona 1218 (Monte Mario alto) per ogni ora del giorno ...	9
Figura 5. Viaggi dalla zona 45 .....	9
Figura 6. Distribuzione dei tempi di viaggio in secondi .....	10
Figura 7. Distribuzione delle lunghezze di viaggio in metri .....	10
Figura 8. Distribuzione dei tempi di sosta tra viaggi consecutivi effettuati dalla stessa vettura .....	11
Figura 9. Dettaglio della distribuzione delle soste di durata compresa tra 10 e 15 ore .....	12
Figura 10. Distribuzione dell'orario di inizio delle soste con durata compresa tra: (a) 10 e 15 ore, (b) 11 e 14 ore, (c) 12 e 13 ore, (d) 4 e 9 ore, (e) 5 e 9 ore, (f) 7 e 9 ore .....	12
Figura 11. Numero di veicoli che effettuano n soste notturne di durata compresa tra 10 e 15 ore in tutto il dataset (30 gg).....	13
Figura 12. Soste di durata tra 10 e 15 ore iniziate tra le 16:00 e le 23:00 del veicolo 179949 .....	13
Figura 13. Numero di residenze per cella esagonale nell'area della città metropolitana di Roma relativo ai veicoli presenti del dataset Octo Telematics.....	14
Figura 14. Istogramma delle soste di mercoledì 8 maggio 2013. In ascissa l'ora di inizio delle sosta e in ordinata la relativa durata in ore. Le linee tratteggiate rosse delimitano la giornata, l'intensità di colore cresce con il numero di soste .....	15
Figura 15. Istogramma delle soste di domenica 12 maggio 2013. In ascissa l'ora di inizio delle sosta e in ordinata la relativa durata in ore. Le linee tratteggiate rosse delimitano la giornata, l'intensità di colore cresce con il numero di soste .....	17
Figura 16. Lo schema logico dell'approccio. L'immagine della traiettoria è tratta da [4].....	18
Figura 17. Frattali naturali: un fiocco di neve ed un broccolo romanesco.....	19
Figura 18. Frattali geometrici: il triangolo di Sierpinski e la curva di Koch con evidenziata la self similarità .	19
Figura 19. L'insieme degli incroci stradali di Roma limitati a 15 km dal Campidoglio.....	21
Figura 20. Il numero di incroci in funzione della distanza dal Campidoglio in km .....	22
Figura 21. Box counting. Numero di box con almeno un incrocio in funzione delle dimensioni del box .....	23

Figura 22. Funzione di autocorrelazione media su tutti gli incroci ..... 23