RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

LA3.24 - Mobilità Urbana: profilazione dei floating car data

Prof. Ernesto Cipriani, Dott. Andrea Gemma, Dott.ssa Livia Mannini

ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI

RdS_PTR 22-24_PR 1.7_LA3.24_025

LA 3.24: MOBILITÀ URBANA: PROFILAZIONE DEI FLOATING CAR DATA

Ernesto Cipriani, Andrea Gemma, Livia Mannini - Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche, Università RomaTre

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti
Progetto: 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali"
Linea di attività: 3.24
Responsabile del Progetto: Claudia, Meloni, ENEA
Responsabile Linea di Attività: Università RomaTre - Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche [RM3-ICITA]
Mese inizio previsto: 13
Mese inizio effettivo: 13
Mese fine previsto: 18
Mese fine effettivo: 18

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione
"Tecnologie sperimentali per la ricarica dei veicoli elettrici e modelli per l'analisi e la simulazione della mobilità urbana"
Responsabile scientifico ENEA: Carlo, Liberto
Responsabile scientifico Co-beneficiario: Ernesto, Cipriani

Indice

1 RISULTATI ATTESI 3
2 RISULTATI OTTENUTI 4
3 PRODOTTI ATTESI 5
4 PRODOTTI SVILUPPATI 6
5 ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI 7
6 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 8
7 DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 9
8 CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE 14
9 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE 15
10 EVENTI DI DISSEMINAZIONE 16

1 Risultati attesi

Questa linea di attività ha richiesto lo sviluppo delle seguenti sotto attività:

1. Integrazione con il Geo-Database: tutte le attività di lettura dei dati di input e scrittura di quelli di output prevedono l'integrazione della catena modellistica con il geo-database della piattaforma. L'integrazione prevede pertanto la definizione di tutte le interfacce di comunicazione e dei formati di interscambio dati.
2. Pre-Processing: la fase di pre-processing dei dati FCD ha come obiettivo l'estrazione dell'intera sequenza di record registrati da ciascun veicolo del campione analizzato dal geo-database e la successiva fase di filtraggio e correzione degli errori.
3. Ricostruzione delle traiettorie: in cascata all'operazione di filtraggio e correzione si intende realizzare un sistema per la ricostruzione delle traiettorie per ciascun veicolo con relativa storicizzazione dei dati all'interno del geo-database.
4. Profilazione della mobilità: è stato previsto di sviluppare un modulo che, a partire dalle traiettorie, profili il veicolo calcolando alcune statistiche di base in funzione delle traiettorie estratte come: periodicità, distanze medie, fasce orarie, tempi di parcheggio, etc…

I risultati attesi per ciascuna delle sotto-attività descritte sono:

1. Realizzazione di un modulo per l'integrazione del modello con il geo-database della piattaforma attraverso gli strumenti messi a disposizione da quest'ultima (webservices, accesso diretto, files exchange, etc).
2. Realizzazione di un modulo per l'identificazione e correzione della maggior parte degli errori al fine di evitare distorsioni nell'analisi della mobilità.
3. Realizzazione di un modulo per l'estrazione delle traiettorie e l'identificazione dei comportamenti di mobilità catturabili attraverso i dati FCD.
4. Realizzazione di un modulo per identificare ed estrarre informazioni di interesse trasportistico attraverso l'analisi statistica delle traiettorie.

2 Risultati ottenuti

Tutti i risultati attesi e descritti nel capitolo 1 sono stati tutti raggiunti.

Di seguito si espongono i principali risultati delle diverse sotto attività:

1. Integrazione con il Geo-Database: gli script e i modelli di calcolo sviluppati sono stati integrati con il geo-database sviluppato dall'ENEA secondo le modalità di connessione concordate. In particolare, il sistema è stato integrato accedendo al database con modalità diretta sia in lettura che in scrittura, garantendo la protezione dello scambio dati attraverso un sistema di permessi sul geo-database e attraverso una connessione VPN.
2. Procedura di identificazione e correzione degli errori: l'implementazione di una procedura specifica per l'identificazione e correzione degli errori nei dati FCD è stata sviluppata con l'obiettivo di mitigare le possibili distorsioni del dato, garantendo la qualità e l'affidabilità dei dati utilizzati nell'analisi della mobilità.
3. Estrazione delle Traiettorie: le traiettorie di ciascun veicolo del campione analizzato sono state estratte con successo, fornendo un quadro dettagliato degli spostamenti dei veicoli. Ciò costituisce un elemento fondamentale per identificare e comprendere i diversi comportamenti di mobilità catturabili attraverso i dati FCD.
4. Profilazione della Mobilità: il modulo sviluppato per la profilazione della mobilità ha prodotto risultati rilevanti. Attraverso un'analisi statistica approfondita delle traiettorie, è stato possibile identificare ed estrarre le informazioni di interesse trasportistico, comprese periodicità, distanze medie, fasce orarie e tempi di parcheggio.

I risultati dei moduli software sviluppati vengono sintetizzati di seguito:

1. I moduli sviluppati sono stati organizzati all'interno di un modulo Python contenente una classe per ogni tipologia di informazione di input e output necessaria. Per ciascuna classe sono state realizzate delle funzioni di lettura e scrittura dei dati da e verso il database, garantendo elevate performance e indipendenza tra lo strato logico applicativo e quello di persistenza, caratteristiche necessarie per il mantenimento e la portabilità del codice.
    a. La procedura di importazione dai dati FCD è in grado di processare e importare 250MB/minuto corrispondente a circa 3.200.000 FCD/minuto.
    b. La procedura di pre-processing dei dati FCD è in grado di elaborare circa 6.800.000 FCD/minuto.

    In sintesi, i dati importati ed elaborati durante questa linea di attività sono stati: 46.545.758 FCD relativi a 18.823 Veicoli.
2. Le procedure di identificazione delle anomalie e costruzione delle traiettorie sono state integrate in un unico processo di elaborazione eseguito per singolo veicolo. La procedura ha ricostruito 1.372.472 traiettorie con una velocità di circa 900 veicoli/minuto corrispondenti a circa 65.000 traiettorie/minuto.
3. La profilazione della mobilità è stata realizzata in più fasi:
    a. Raccolta delle informazioni dei veicoli, integrata durante la procedura di importazione.
    b. Raccolta delle informazioni Origine-Destinazione (OD), integrata durante la ricostruzione delle traiettorie.
    c. Aggregazione e calcolo delle statistiche.

    Di queste attività, l'unica time consuming è la procedura *b* che richiede l'archiviazione di tutte le possibili sotto-traiettorie ricostruite al punto 2, ovvero 2.6 miliardi di record. Dopo diversi processi di ottimizzazione, questa procedura è in grado di elaborare circa 2.800 traiettorie/minuto corrispondenti a 5.800.000 di sotto-traiettorie/minuto.

Per la natura stessa di questa linea di attività non è possibile definire dei benefici diretti sul sistema elettrico nazionale. I risultati sono da considerarsi fondamentali per le linee di attività collegate poiché, a partire da essi, sarà possibile alimentare la catena modellistica dell'intero progetto con ricadute significative sul sistema elettrico nazionale.

3 Prodotti attesi

Le attività sviluppate prevedevano lo sviluppo dei seguenti prodotti:

1. Modulo per la connessione al geo-database con funzionalità di importazione ed esportazione.
2. Modulo per il filtraggio e la correzione dei dati FCD per ciascun veicolo.
3. Modulo software per la ricostruzione delle traiettorie dei dati FCD.
4. Modulo software per l'analisi statistica delle traiettorie.

Ciascuno dei moduli doveva essere sviluppato in Python e il relativo codice di calcolo integrabile nella piattaforma del progetto.

4 Prodotti sviluppati

I risultati ottenuti nell'ambito di questa LA sono stati realizzati per mezzo della produzione di 4 moduli software integrati in un unico script di esecuzione.
Tutti i moduli sono stati sviluppati in Python 3.9, che garantisce la retrocompatibilità con le versioni successive. Si è inoltre fatto ausilio delle seguenti librerie *open*, la cui descrizione è riportata all'interno del file *requirements.txt* utilizzabile per l'auto installazione delle stesse:

```
psycopg[binary]>=3.1.8
dataclasses>=0.6
shapely>=2.0.1
osmnx>=1.3.0
networkx>=3.0
```

I prodotti realizzati sono stati implementati integrandoli all'interno di un'unica libreria Python e non prevedono l'utilizzo di procedure di accesso da parte dell'utente.
La libreria Python è stata chiamata *par* ed espone le seguenti classi:

- FCD: classe utilizzata per la rappresentazione dei Floating Car Data; espone le funzioni importazione da CSV, elaborazione e di I/O verso il database.
- Vehicle: classe utilizzata per la rappresentazione dei veicoli; espone le funzioni elaborazione e I/O verso il database.
- Trip: classe utilizzata per la rappresentazione degli spostamenti tra accensione e spegnimento del veicolo; espone le funzioni elaborazione e I/O verso il database.
- TripLeg: classe utilizzata per la rappresentazione dei segmenti di viaggio tra tutte le coppie OD attraversate dai veicoli; espone le funzioni elaborazione e I/O verso il database.
- Zones: classe utilizzata per la rappresentazione delle zone; espone le funzioni elaborazione e I/O verso il database.

La catena modellistica di importazione ed elaborazione dei dati è stata implementata nello script Python *avvia_analisi.py* implementando i seguenti moduli di calcolo:

1. Modulo per la connessione al geo-database con funzionalità di importazione ed esportazione.
2. Modulo per il filtraggio e la correzione dei dati FCD per ciascun veicolo.
3. Modulo software per la ricostruzione delle traiettorie dei dati FCD.
4. Modulo software per l'analisi statistica delle traiettorie.

Tutto il codice prodotto per la realizzazione di questi moduli è stato memorizzato su uno specifico server messo a disposizione dell'ENEA e secondo le procedure concordate.
Pertanto, i prodotti sviluppati sono coerenti e in linea con i prodotti attesi.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non ci sono stati scostamenti rispetto alle attività e ai risultati previsti.

6 Sintesi delle attività svolte

La linea di attività ha richiesto di sviluppare un software in grado di implementare le funzionalità necessarie per l'analisi dei dati FCD con l'obiettivo di raggiungere i risultati attesi. Il software è stato integrato all'interno di uno script Python che ne garantisce la corretta esecuzione e che rappresenta una base prototipale per l'integrazione all'interno del progetto finale.
Le funzionalità principali implementate hanno consentito di ottenere le seguenti informazioni finali:

- Statistiche sulla flotta veicolare monitorata, come la qualità delle informazioni generate dalle OBU, la percentuale di utilizzo e l'area di utilizzo dei veicoli.
- Traiettorie di viaggio, con informazioni come tempo e distanza di spostamento, zone di origine e destinazione, e tempi di sosta.
- Statistiche di mobilità, come tempi e distanze tra coppie di zone di traffico (OD) o tempi di parcheggio.

Queste informazioni risultano fondamentali per la comprensione dei modelli di mobilità che verranno sviluppati nell'ambito delle altre LA.
In particolare, le attività svolte, coerenti con i risultati e i prodotti attesi, si sono concentrate prevalentemente nello sviluppo di moduli per l'integrazione con il geo-database, l'importazione e pre-processing di dati FCD, la ricostruzione delle traiettorie di veicoli e la profilazione della mobilità.
Si riporta una sintesi di ciascuna delle attività sviluppate:

- Integrazione con il Geo-Database
    - Scouting e raccolta dati: preliminarmente, è stata effettuata una fase di studio e raccolta dati FCD (Floating Car Data), che includevano informazioni come posizione, velocità, direzione, stato del motore, e altre.
    - Progettazione e interfacciamento: concordemente con l'ENEA è stata definita la struttura generale del database per memorizzare i dati di input e output di ciascun modello previsto e un metodo di interfacciamento e comunicazione per l'interscambio dei dati con il geo-database.
    - Implementazione: diverse metodologie di interfacciamento sono state testate, optando per un accesso diretto al database tramite la libreria Python psycopg3, scelta per la sua efficienza. Per ciascuno dei dati trattatati è stata realizzata una classe per la gestione dei dati di input e output garantendo la persistenza e l'indipendenza dei moduli dalla struttura dati del database.
- Procedura di Importazione e Pre-Processing
    - Importazione: è stata sviluppata una procedura specifica per l'importazione dei dati FCD grezzi nel database, utilizzando tecniche di buffering e inserimento massivo (bulk insert) per ridurre i tempi di elaborazione.
    - Pre-processing: i dati sono stati sottoposti a pre-processing per calcolare la rappresentazione geometrica dei punti FCD in formato WKB, essenziale per eseguire calcoli geografici efficientemente.
- Ricostruzione delle Traiettorie
    - Analisi dati FCD e gestione delle anomalie: i dati FCD sono stati analizzati per identificare inizio e fine dei viaggi, utilizzando molteplici criteri. Sono state identificate e gestite eventuali anomalie nei dati, come timestamp duplicati, velocità eccessive o troppo lente per lunghi periodi, interruzioni del segnale o assenza di informazioni attese.
    - Implementazione: la procedura ha generato e salvato le traiettorie di viaggio (Trips) partendo dai dati FCD. Bilanciando le performance con le risorse di calcolo richieste, si è deciso di procedere con un'analisi dei dati per singolo veicolo ordinandoli cronologicamente.
- Profilazione della Mobilità

- Analisi della flotta veicolare: è stata condotta un'analisi del campione di veicoli monitorati, valutando il numero di campioni raccolti in base allo stato operativo del motore.
- Calcolo dell'area di utilizzo: è stata calcolata l'area di utilizzo dei veicoli, utilizzando il baricentro e la deviazione standard delle coordinate geografiche.
- Statistiche di mobilità: sono state calcolate statistiche di mobilità significative, come tempi e distanze di percorso, fasce orarie e tempi di parcheggio per ogni singola coppia OD e fascia oraria.

7 Dettaglio delle attività svolte

La presente linea di attività ha richiesto lo sviluppo di un software in grado di implementare le seguenti funzionalità in linea con i risultati attesi:

1) Integrazione con il geo-database.
2) Procedure di importazione e pre-processing.
3) Ricostruzione delle traiettorie.
4) Profilazione della mobilità.

Durante la fase di importazione dei dati grezzi viene eseguita una procedura di pre-processing necessaria alle funzionalità e all'ottimizzazione delle procedure previste nell'ambito del progetto e di questa LA. Successivamente si procede con la fase di ricostruzione delle traiettorie durante la quale i dati vengono riletti e filtrati al fine di identificare le anomalie e di ottenere una ricostruzione priva di errori. Infine, si procede con l'analisi delle traiettorie con l'obiettivo di ottenere la profilazione della mobilità esaminando gli spostamenti per ogni singola coppia di zone di traffico (coppia OD). L'integrazione con il geo-database è stata realizzata preventivamente in quanto cruciale per ciascuna delle suddette fasi, le quali necessitano capacità di lettura e scrittura sul database.

Nei paragrafi successivi verranno descritte le attività svolte per l'implementazione di ogni singola attività.

7.1 Integrazione con il geo-database

Preliminarmente all'integrazione con il geo-database, in collaborazione con l'ENEA, è stata svolta una fase di scouting e raccolta dei dati messi a disposizione da Roma Servizi per la Mobilità s.r.l. (RSM) al fine di progettare un geo-database in grado di archiviare i dati necessari a tutta la catena modellistica. Durante questa fase di studio dei dati sono stati identificati, come significativi per questa linea di attività, le seguenti sorgenti di informazioni:

- Floating Car Data (FCD): dati GPS dei veicoli provenienti dalle unità di bordo (OBU) che contengono le informazioni circa posizione, velocità, direzione, stato del motore, progressiva a inizio viaggio e istante temporale.
- Zonizzazione: suddivisione del territorio della provincia di Roma in zone di traffico (ZMU) considerate omogenee dal punto di vista della mobilità con differenti livelli di aggregazione crescenti: quartieri, municipi, comuni e zone PGTU. La zonizzazione è stata classificata in funzione della tipologia di zona: zona di cordone o interna.

Successivamente si è proceduto all'analisi della catena modellistica con l'obiettivo di identificare i dati di output principali e le loro caratteristiche.

- Traiettorie: identificano gli spostamenti dall'accensione (o dall'ingresso nell'area di studio) fino allo spegnimento (o in uscita dall'area di studio). Per ciascuna traiettoria si è concordato di calcolare il tempo e la distanza di spostamento, le zone di origine e destinazione, i tempi di sosta e gli identificativi con i viaggi antecedenti e successivi.
- Veicoli: comprende la lista dei veicoli caratterizzante il parco veicolare monitorato con alcune statistiche di base come numero di campioni rilasciati suddivisi per stato del motore e l'area di spostamento identificata dal baricentro e da un raggio di influenza.
- Segmenti di traiettoria: identificano un qualsiasi segmento interno a una traiettoria di viaggio utile a stimare i tempi e le distanze dei percorsi alternativi che uniscono le diverse coppie di zone (OD).
- Statistiche OD: identificano le statistiche di tempo e distanza relative ai segmenti di traiettoria che congiungono una specifica coppia OD. In particolare, sono stati calcolati: 5°, 25°, 50° 75° 95° percentile, minimo, valore medio, massimo e deviazione standard. Tutte le statistiche sono state calcolate per ciascuna fascia oraria.

Dopo aver identificato le informazioni da archiviare, l'ENEA ha progettato la struttura del geo-database, fornendo le indicazioni necessarie per il suo interfacciamento. Una volta realizzato il database, sono state testate diverse metodologie di interfacciamento, sia basate su web-service sia tramite accesso diretto al database. A seguito di un'analisi focalizzata principalmente sulle performance di calcolo, è stata scelta l'implementazione di un metodo di accesso diretto al database, utilizzando la libreria di Python *psycopg3*, che si è dimostrata più performante rispetto ad altre opzioni analizzate come *psycopg2* e *sqlalchemy*.
Definita la metodologia di interfacciamento, si è proceduto con la creazione di una classe specifica per ogni tipo di dato di input e output, allo scopo di garantire le funzionalità di inserimento, aggiornamento e caricamento dei dati dal database, gestendo così efficacemente la persistenza dei dati.

- FCD: classe per la gestione dei dati FCD.
- Trip: classe per la gestione dei dati di traiettoria.
- TripLeg: classe per la gestione dei dati dei segmenti traiettoria.
- Zone: classe per la gestione dei dati di zona.
- Vehicle: classe per la gestione dei dati relativi ai veicoli.

7.2 Procedure di importazione e pre-processing

In questa fase, è stata elaborata una metodologia specifica per l'importazione dei dati FCD grezzi all'interno del database a partire dai file, in formato CSV, forniti da RSM e contenente le seguenti informazioni:

- gid: identificativo di campione.
- x: longitudine.
- y: latitudine.
- dir: direzione in gradi rispetto al NORD.
- stato: stato del motore (0: accensione, 1: in moto, 2: spegnimento).
- quality: qualità del segnale (0-15).
- id_veicolo: identificativo del veicolo.
- odo: progressiva in metri a partire dall'inizio del viaggio.

Pertanto, nell'ambito di questa attività, è stata sviluppata una procedura specifica per l'importazione dei suddetti dati all'interno del geo database e, per aumentarne l'efficienza, sono state impiegate tecniche di buffering e inserimento massivo (bulk insert) riducendo così i tempi di elaborazione.
Dopo l'importazione, i dati sono stati sottoposti a una fase di pre-processing durante il quale è stata calcolata e memorizzata la rappresentazione geometrica dei punti FCD in formato WKB, essenziale per l'esecuzione di calcoli geografici in modo efficiente. Successivamente, i punti GPS sono stati associati alle zone di traffico

(ZMU) già presenti nella zonizzazione territoriale del sistema. Durante questo processo, si è anche provveduto a determinare e memorizzare la tipologia di zona di traffico associata a ciascun dato FCD, in modo da agevolare l'accesso e l'analisi di queste informazioni per le LA previste nel progetto.

Figura 1. Rappresentazione delle sotto attività svolte nella procedura di importazione e pre-processing

7.3 Ricostruzione delle traiettorie

Nel modulo di ricostruzione delle traiettorie è stata realizzata una procedura per generare traiettorie di viaggio (Trips) a partire da una lista di dati grezzi FCD. La procedura analizza sequenze di dati FCD per identificare inizi e fini di viaggi basandosi su criteri come velocità, distanza, intervalli di tempo, e interruzioni del segnale. Questo include la determinazione di quando un veicolo inizia o termina un viaggio, tenendo conto di possibili interruzioni del segnale o cambiamenti di stato del motore. La procedura è costituita dai seguenti passaggi:

- Inizializzazione: sono preparate le variabili per l'elaborazione dei dati FCD.
- Elaborazione di ogni FCD: ciascun record FCD viene analizzato e confrontato con i record precedenti e successivi per determinare eventuali cambiamenti significativi che potrebbero indicare l'inizio o la fine di un viaggio. Questo passaggio richiede un ordinamento cronologico dei dati.
- Identificazione delle condizioni di inizio/fine viaggio: criteri specifici come cambiamenti di stato del motore, interruzioni del segnale, e variazioni di velocità sono usati per identificare inizio e fine dei viaggi.
- Gestione delle anomalie: sono identificate anomalie come dati con lo stesso timestamp o velocità eccessivamente elevate tra campioni successivi.
- Creazione di traiettorie: nel momento di identificazione di un nuovo viaggio, la procedura salva la traiettoria corrente e inizia a costruirne una nuova.
- Ottimizzazione delle traiettorie: i punti FCD non significativi, come quelli all'inizio e alla fine di ogni viaggio, sono eliminati.
- Risultato finale: la procedura restituisce una lista di oggetti “Trip” ricostruiti.

Considerando un ordinamento cronologico dei dati per ogni singolo veicolo, si riportano di seguito i criteri principali per l’identificazione dell’inizio di un viaggio e la procedura di riconoscimento delle anomalie:

- L’accensione del motore identifica l’inizio di un nuovo viaggio.
- Lo spegnimento del motore nel campione precedentemente analizzato identifica l’inizio di un nuovo viaggio e l’anomalia dell’assenza del segnale di accensione.
- La progressiva del viaggio decrescente identifica l’inizio di un nuovo viaggio e identifica un’anomalia di assenza di segnale per il quale il viaggio è rincominciato ma senza accensione o spegnimento.
- Un tempo tra 2 segnali successivi superiore a una certa soglia configurabile (attualmente pari a 900 secondi) identifica l’inizio di un nuovo viaggio. Ciò rappresenta l’identificazione di un’assenza di segnale superiore a un tempo massimo oltre il quale si considera interrotto il viaggio.
- Un tempo tra 2 segnali successivi superiore a una certa soglia configurabile (attualmente pari a 300 secondi) e al contempo una velocità inferiore a un’altra soglia impostata a 2 km/h identifica l’inizio di un nuovo viaggio. Ciò rappresenta un’assenza di segnale superiore a un tempo massimo durante il quale il veicolo si è mosso a una velocità media inferiore a 2 km/h.

- Dati 3 punti consecutivi a-b-c, viene calcolata la velocità euclidea (distanza euclidea/tempo) tra i punti a-b (Vab) e i punti b-c (Vbc). Se Vab e Vbc sono maggiori di una certa soglia (250 km/h) allora il punto b viene escluso; se la sola velocità Vab è maggiore di una certa soglia (250 km/h) allora il punto a viene eliminato e viene identificato un nuovo viaggio che parte dal punto b. Con questa procedura si provano a eliminare i dati GPS che, per un errore di bassa qualità del segnale, risultano lontano dalla traiettoria che si sta ricostruendo.
- Se un trip è composto da un solo campione viene eliminato.
- Se un veicolo rimane fermo in origine vengono eliminati tutti i punti di sosta iniziali.
- Se un veicolo rimane fermo in destinazione vengono eliminati tutti i punti di sosta finali.

Al termine della ricostruzione delle traiettorie vengono calcolate le seguenti grandezze utili per le elaborazioni successive:

- Tempo e distanza totale di viaggio.
- Identificativo di zona di origine e destinazione.
- Tipologia di zona di origine e destinazione.
- Identificativo del viaggio precedente e successivo dello stesso veicolo.
- Tempo totale di sosta precedente e successivo al viaggio.

In Figura 2 è riportato un esempio della ricostruzione di 1.000 traiettorie eseguite con la procedura sopra descritta.

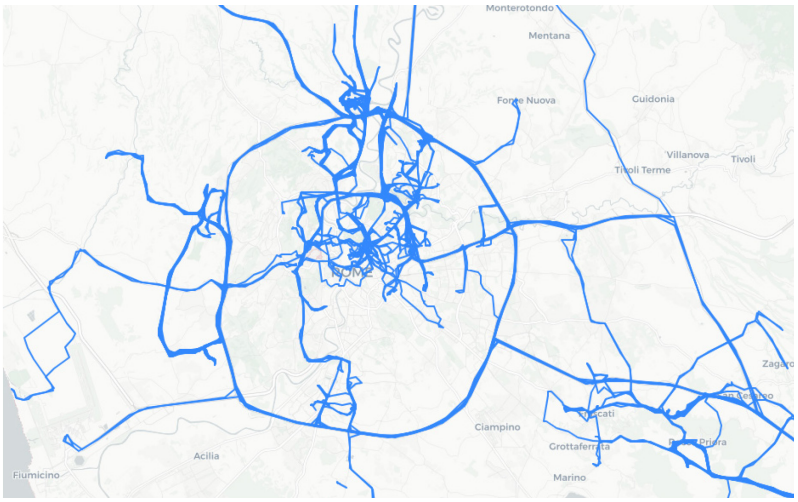

Figura 2. Esempio di ricostruzione di mille traiettorie

7.4 Profilazione della mobilità

Utilizzando sia i dati FCD che quelli sulle traiettorie, sono state realizzate delle procedure per avere dei dati oggettivi che consentissero una profilazione della mobilità. La prima procedura lavora direttamente sui dati FCD ed è stata integrata a valle dell'importazione dei dati raw nella quale si è proceduto all'analisi della flotta veicolare monitorata. Questo processo ha incluso una valutazione del numero di campioni raccolti, differenziati in base allo stato operativo del motore, che ha fornito indicazioni sull'utilizzo del veicolo e sulla tipologia di informazioni raccolte dalla on board unit (OBU). Questo ha permesso di riscontrare, ad esempio, che il 4.1% dei veicoli non restituisce informazioni sullo stato di accensione e spegnimento del motore e che circa il 0.5% dei veicoli non ha informazioni sullo stato di spegnimento del motore. Queste analisi hanno permesso anche la progettazione delle regole per l'identificazione delle anomalie durante la procedura di ricostruzione delle traiettorie descritta nel paragrafo precedente. La stessa analisi ha permesso, inoltre, di

riscontrare che il 75% dei veicoli viene utilizzata meno del 5% del tempo totale come mostrato in Figura 3. Tali indicazioni risultano peraltro cruciali per lo sviluppo delle altre LA del progetto, come ad esempio la generazione delle traiettorie "sintetiche", ovvero attraverso una modellistica data driven.

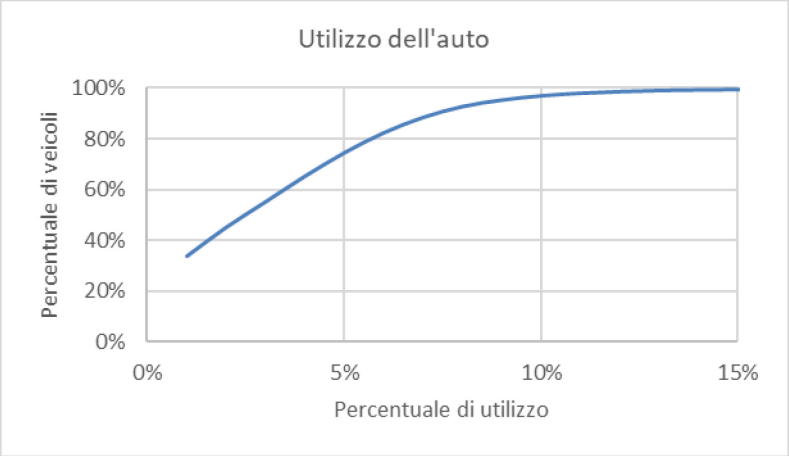

Figura 3. Percentuale di utilizzo dell'auto cumulata

Oltre all'analisi dello stato del motore, a valle della fase di importazione dei dati FCD, è stata realizzata una procedura per rappresentare l'area di utilizzo dei veicoli calcolando il baricentro e la deviazione standard delle coordinate geografiche (longitudine e latitudine) definendo dei bacini di influenza come mostrato Figura 4. Quest'ultimo aspetto permette di comprendere meglio i modelli di movimento e di frequentazione delle aree e di avere una visione più ampia e dettagliata delle abitudini di mobilità.

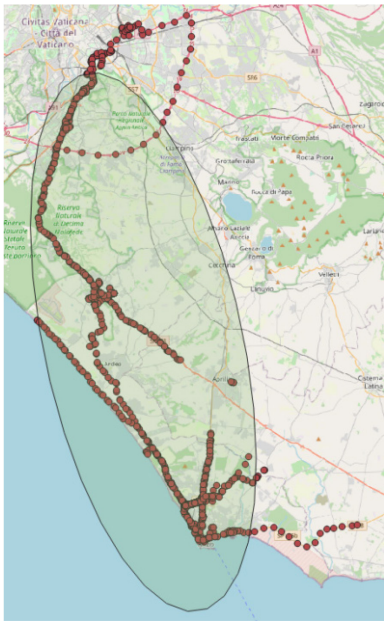

Figura 4. Identificazione dell'area di utilizzo di un veicolo

Le procedure per il calcolo di alcune statistiche di mobilità sono state integrate nel modulo di ricostruzione delle traiettorie. Durante questa procedura, le traiettorie sono state scomposte in tutte le possibili sotto-traiettorie, ovvero parti di traiettorie comprese tra tutte le possibili coppie di FCD consecutive; Tutte queste sotto-traiettorie contribuiscono a calcolare i tempi e le distanze tra tutte le zone di origine e le zone di destinazione per ogni singola fascia oraria. Infine, attraverso un'analisi statistica delle traiettorie, vengono identificati anche i tempi di parcheggio medi in destinazione per ogni singola coppia OD e per ogni fascia oraria. Questo set di dati permette quindi di identificare molte informazioni di interesse trasportistico, come periodicità, distanze medie, fasce orarie e tempi di parcheggio.

7.5 Integrazione

I modelli proposti sono stati integrati all'interno di uno script Python che ne garantisce la corretta esecuzione e che rappresenta una base prototipale per l'integrazione all'interno del progetto finale. Lo script, nominato *avvia_analisi.py* realizza le seguenti attività:

1. Connessione al database.
2. Importazione nel geo-database dei dati FCD a partire da file CSV.
3. Calcolo delle statistiche della flotta veicolare.
4. Calcolo delle geometrie e delle zone associate ai dati FCD.
5. Ricostruzione delle traiettorie.
6. Calcolo e memorizzazione dei segmenti di traiettoria per ciascuna traiettoria.
7. Calcolo delle statistiche OD e di zona.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state richieste consulenze per le attività sopra descritte.

9 Pubblicazioni scientifiche

Non sono state fatte pubblicazioni inerenti alle attività sopra descritte.

10 Eventi di disseminazione

Dalle attività svolte non è scaturito nessun evento di disseminazione.