



Ricerca di Sistema elettrico

## Simulatore di scenari di elettrificazione della mobilità veicolare urbana

Bernardo Monechi, Bruno Campanelli, Vittorio Loreto



## SIMULATORE DI SCENARI DI ELETTRIFICAZIONE DELLA MOBILITÀ VEICOLARE URBANA

Bernardo Monechi (Sony CSL Paris)

Bruno Campanelli, Vittorio Loreto (Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Fisica)

Settembre 2018

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

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

Progetto: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: a. Scenari di mobilità elettrica

Responsabile del Progetto: Maria Pia Valentini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Modellizzazione dei fenomeni collegati ai comportamenti sulle scelte di mobilità e alle interazioni con le infrastrutture di ricarica e realizzazione dell'ambiente di simulazione interattiva"

Responsabile scientifico ENEA: Dr. Carlo Liberto

Responsabile scientifico Università: Prof. Vittorio Loreto

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
2.1 IL GENERATORE DI TRAIETTORI SINTETICHE.....	6
2.2 GENERATORE DI TRAIETTORI SINTETICHE: NUOVA DINAMICA CIRCADIANA.....	8
2.3 GENERATORE DI TRAIETTORI SINTETICHE: CALIBRAZIONE CON NUOVI DATI GPS .....	11
2.4 SIMULATORE COMPORTAMENTI DI RICARICA .....	13
2.5 INTEGRAZIONE DEL MODELLO PARK'N'RIDE .....	16
2.6 CONSUMI MOBILITÀ PUBBLICA ELETTRIFICATA.....	18
2.7 LA PIATTAFORMA WEB .....	21
3 CONCLUSIONI.....	24
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	26
5 CURRICULA.....	28

## Sommario

Questo report riporta i risultati teorici ottenuti dal team Sapienza nel corso del secondo anno di ricerca, finalizzato alla realizzazione di un ambiente di simulazione di scenari urbani di mobilità veicolare elettrica nel contesto operativo delle Smart-Grid. Sono riportati inoltre i dettagli dello sviluppo tecnico della piattaforma web di simulazione, che permette l'esplorazione semplificata di scenari di mobilità elettrica privata e pubblica. In questa seconda parte del progetto, Sapienza ha ampliato i modelli realizzati nell'anno precedente, ossia il generatore di traiettorie sintetiche ed il simulatore di comportamenti di ricarica, ed ha elaborato un modello per stimare la richiesta di energia elettrica dovuta alla mobilità pubblica elettrificata. Questi modelli sono stati inseriti in un ambiente web che permette all'utente una semplice interazione con i risultati delle simulazioni e con i modelli stessi. Ogni attività presentata in questo documento lascia spazio a future modifiche e nuove implementazioni.

La prima parte del documento (paragrafi 2.1, 2.2, 2.3) riporta le attività riguardanti l'ampliamento del generatore di traiettorie GPS. Questi ampliamenti mirano a correggere alcune discrepanze tra le traiettorie GPS empiriche utilizzate per la realizzazione del modello ed il modello stesso. Tali discrepanze osservate nel numero di viaggi generati per ora durante la giornata erano da attribuirsi principalmente ad un'errata implementazione della dinamica circadiana degli automobilisti. Al fine di simulare la dinamica giorno-notte che si osserva nei dati, era stato implementato un comportamento di "ritorno all'abitazione" che di fatto interrompeva la dinamica degli automobilisti con probabilità crescente nelle ore notturne. Questo comportamento riusciva a ridurre il traffico nelle ore notturne, ma prediceva una mole di traffico troppo bassa nel pomeriggio. Al fine di correggere questo problema è stato introdotto un nuovo vincolo: l'entrata a lavoro. Quest'aggiunta permette di fatto di incrementare il traffico pomeridiano (dovuto principalmente all'uscita dal lavoro), senza intaccare il comportamento di rientro a casa notturno o le altre predizioni del modello. Infine, ci si è concentrati sulla messa a punto di un meccanismo di calibrazione con lo scopo di identificare i parametri ottimali capaci di massimizzare l'aderenza del modello ai dati sperimentali, permettendo l'eventuale estensione del modello ad altre aree in maniera quasi automatica.

La seconda parte del documento (paragrafi 2.4, 2.5) riporta l'attività relativa all'integrazione dei modelli sviluppati da ENEA e Roma3 nel simulatore di comportamenti di ricarica. In particolare, sono stati integrati i modelli di consumo al variare della temperatura e del tipo di veicolo per i veicoli elettrici simulati. Sebbene allo stato attuale il tipo di veicolo elettrico sia assegnato casualmente a ciascun guidatore, l'assegnazione in base a caratteristiche socio-economiche sarà facilmente implementabile in sviluppi futuri. Per quanto riguarda l'integrazione dei risultati di Roma3, questi sono stati introdotti nella forma di un nuovo comportamento simulabili: il Park and Ride. Quest'opzione permette a degli automobilisti di scegliere di non proseguire la propria dinamica giornaliera in auto, ma di lasciare il veicolo in appositi parcheggi di scambio e di proseguire la dinamica con i mezzi pubblici. L'interesse in questo comportamento è dato dal suo potenziale nel ridurre il carico di energia richiesta alle colonnine di ricarica e nella ricarica domestica, per via della ridotta attività del veicolo.

Le ultime due parti (paragrafi 2.6, 2.7) riportano rispettivamente i risultati di un primo sviluppo di modello per stimare i consumi della mobilità pubblica elettrificata e la descrizione del back-end della piattaforma web di simulazione, che si interfaccia direttamente agli script di simulazione. Il modello di consumi della mobilità pubblica elettrificata, seppure semplificato e allo stadio germinale, permette di stimare l'impatto sul carico di energia richiesta dalla rete nelle zone del capolinea di linee di bus elettrificate ed è basato su dati open facilmente reperibili per altre città del mondo. La descrizione del back-end invece riporta il funzionamento generale del software che dall'interfaccia permette l'interazione con i vari script di simulazione, escluso il generatore di traiettorie sintetiche.

## 1 Introduzione

L'introduzione di nuove tecnologie nelle società contemporanee può portare a effetti imprevisti che una più accurata pianificazione potrebbe contribuire a evitare. A titolo di esempio, basti pensare alla pervasività dei social networks e agli effetti di diffusione di notizie false che hanno contribuito a destabilizzare le democrazie occidentali [1]. In ambito trasportistico ci si attende nei prossimi anni l'introduzione di grandi innovazioni tra i quali le auto senza guidatore ed una pesante introduzione di auto elettrificate [2,3]. Non è difficile immaginare che entrambi i casi possano far emergere criticità delle infrastrutture attuali, nel caso esse non sia adeguate alle nuove richieste di questi mezzi di trasporto e ai nuovi comportamenti che gli individui attueranno nell'utilizzarle.

Tali predizioni possono essere effettuate soltanto per mezzo di strumenti che, integrando dati e modellizzazione scientifica, permettano di esplorare scenari futuribili, identificando le loro criticità e aiutando nel design di soluzioni. Un trend molto importante della ricerca interdisciplinare degli ultimi anni sfrutta proprio la diffusione delle tecnologie ICT [4,5,6,7] allo scopo di studiare il comportamento degli individui in vari ambiti, compreso quello della mobilità e dei trasporti. In questo ambito la mobilità umana è stata ricondotta ad una serie di pattern statistici più o meno universali, che si ripresentano in maniera simile indipendentemente dal luogo e il momento di studio [8,9,10].

Una parte importante del presente lavoro, iniziato il precedente anno, prendere le mosse da questo filone di studi al fine di realizzare dei modelli statistici in grado di riprodurre reali traiettorie GPS di veicoli privati in movimento negli spazi urbani ed extra urbani. Questa parte del lavoro è stata terminata quest'anno aggiungendo una nuova base dati di test per la verifica dell'affidabilità del modello e tramite l'introduzione di nuove elementi per riprodurre al meglio la dinamica "circadiana" degli automobilisti casa-lavoro-esplorazione di nuove aree. Un ricapitolo del generatore e una spiegazione dei nuovi elementi aggiunti sarà fornita nel paragrafo 2.1.

Le traiettorie sintetiche così generate sono utilizzate come base di un simulatore di comportamenti di ricarica. Tale simulatore assume determinati comportamenti dei possessori di veicoli elettrificati al momento della ricarica, e li usa per predire la richiesta di energia elettrica dovuta a questo tipo di mobilità. Il lavoro di Sapienza in questa seconda fase è stato quello di introdurre e armonizzare questo modello di simulazione con altri elementi creati da ENEA e Roma3. In particolare sono stati introdotti vari tipi di auto elettriche, il consumo di energia elettrica domestico, la variazione oraria di temperatura ed il suo influsso sui consumi delle auto elettriche su indicazione di ENEA. Roma3 ha sviluppato uno strumento di predizione dei flussi uscenti da determinate aree a seguito dell'introduzione di comportamenti "park'n'ride", ossia automobilisti che decidono di eseguire la propria dinamica giornaliera utilizzando ad un certo punto i mezzi di trasporto pubblico. Il modello di Roma3 è stato integrato in modo tale da avere redirezioni di flussi compatibili nelle traiettorie sintetiche, nel caso si scelga di simulare uno scenario "park'n'ride". Infine, Sapienza ha sviluppato un modello di calcolo dei consumi della mobilità pubblica elettrificata che va ad affiancarsi al simulatore di comportamenti di ricarica nella stima complessiva della richiesta di energia elettrica da parte di veicoli elettrificati. Le modifiche al precedente simulatore di comportamenti di ricarica e il modello di mobilità pubblica sono presentati nei paragrafi 2.2 e 2.3 rispettivamente.

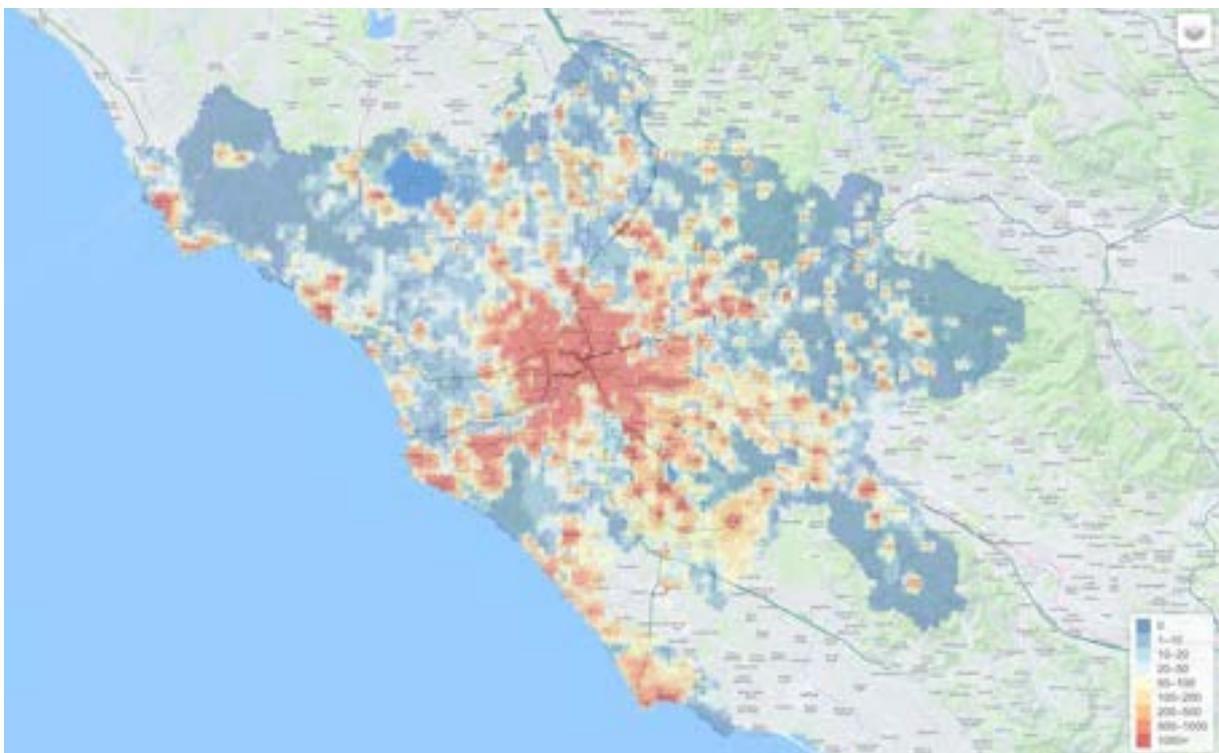
Buona parte del lavoro di quest'anno è stata dedicata all'implementazione di tutti questi elementi in una piattaforma web. Questa piattaforma gestisce le interazioni di potenziali utenti permettendo, tramite un'interfaccia, sia la visualizzazione dei risultati delle varie simulazioni, sia l'interazione con i modelli. Il backend di questa piattaforma infatti registra tutte le "richieste di simulazione di scenari" immesse tramite la piattaforma e le passa in maniera sequenziale al simulatore di comportamenti, per poi registrarle in un database. Allo stesso tempo, gestisce le richieste di visualizzazione di scenari già calcolati e ne espone gli output su una pagina web, in cui sono presentati in maniera graficamente accattivante. Un più precisa spiegazione del backend della piattaforma sarà data nel paragrafo 2.4.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Le attività svolte da Sapienza nel secondo anno di attività sono state, come detto in precedenza, sia di sviluppo teorico che di sviluppo software, ai fini della realizzazione della piattaforma di simulazione. In entrambi questi sviluppi le attività sono giunte a buon punto, lasciando però spazio a miglioramenti o modifiche a seconda delle necessità degli utenti.

### 2.1 Il Generatore di Traiettori Sintetiche

Come riportato nel report precedente [11], il generatore di traiettorie sintetiche è stato sviluppato a partire da traiettorie reali GPS OCTOTELEMATICS raccolta per fini assicurativi (<https://www.octotelematics.com/en/>). Questi dati riguardano la “traiettoria”, ossia la serie di stop consecutivi, eseguiti da mezzi privati nell’Area Metropolitana di Roma che viene registrata per mezzo di un segnalatore GPS montato sul veicolo stesso. Queste traiettorie di stop sono di particolare interesse ai fini del simulatore in quanto riprodurre la loro dinamica è di fondamentale importanza per poter simulare i momenti in cui un autista di auto elettrica può fare rifornimento. Da queste traiettorie sono stati esclusi tutti i mezzi appartenenti a persone non residenti nell’Area Metropolitana in modo da semplificare la modellizzazione e dare risalto a fenomeni che potrebbero essere quelli della “ricarica domestica”, ossia veicoli in carica notturna nel garage della propria abitazione. L’Area Metropolitana è stata tassellata con una griglia esagonale (riportata in **Figura 1**) in modo da discretizzare lo spazio degli spostamenti. In questo modo un traiettoria di un veicolo  $v$  è identificata da una sequenza di esagoni  $T(v) = \{H_1..H_n\}$  che rappresenta la sequenza di aree visitate in tutta la sua storia. Lo scopo del generatore è quello di realizzare delle sequenze di  $T(v) = \{H_1..H_n\}$  che abbiano proprietà statistiche compatibili con quelle empiriche.



**Figura 1. Distribuzione della popolazione residente nell’Area Metropolitana di Roma con tassellazione esagonale.**

Tenendo in considerazione che ogni spostamento tra due esagoni richiede un certo tempo di viaggio (inferito dai dati, come riportato nel report precedente) ed ha assegnata un certo tempo di sosta (di nuovo modellizzato

usando la distribuzione dei tempi di sosta inferita dai dati), il modello è in grado di riprodurre pattern statistici quali:

- La distribuzione del numero di spostamenti giornaliero effettuata da ciascun veicolo
- La distribuzione del “raggio di inerzia” di ogni traiettorie, ossia una misura della dispersione spaziale dei punti di sosta che è stata identificata come quantità fondamentale in letteratura [12]
- La “Legge di Heaps” [13] dell’esplorazione di nuove aree, ossia la relazione  $D(N) = N^\beta$  con  $0 < \beta < 1$ , tra il numero di spostamenti effettuati  $N$  ed il numero di aree diverse effettivamente visitate  $D$
- La “Legge di Zipf” [14]  $f(R) \propto R^{-\alpha}$  [14], tra la frequenza di visita di un area  $f$  ed il rango di ordinamento  $R$  delle località visitate in funzione di questa frequenza.
- Discrepanze tra le distanze di spostamento effettuate quando si visitano aree nuove e quando si ritorna in area già esplorate.

Il modello è stato sviluppato ispirandosi a modelli già esistenti in letteratura riguardanti la riproduzione di traiettorie su mappa [15,16] e modelli riguardanti la dinamica dell’innovazione e l’esplorazione di spazi concettuali [17,18,19]. La base del modello riguarda l’esplorazione di nuove aree in un caso di dinamica “libera”, in cui un automobilista non ha vincoli di rientro a casa dovuti ai suoi ritmi circadiani. Questa parte del modello è l’unica ad avere parametri liberi che vanno quindi scelti in modo da massimizzare l’accordo tra modello e dati. I due parametri di base sono il parametro di rinforzo  $\rho$  ed uno di espansione dello spazio visitabile  $\nu$ , tali che  $\nu < \rho$ . Altri due parametri del modello, che in questo documento saranno assunti come uguali per semplicità, sono  $\gamma_1$  che regola la distribuzione della distanza di espansione delle aree esplorabili durante la **regola di espansione** che riporteremo dopo,  $\gamma_2$  che regola la distribuzione delle distanze di spostamento durante la dinamica. Ci riferiremo a queste due quantità semplicemente come  $\gamma$ , indicando che hanno lo stesso valore.

Indichiamo con  $H_0$  l’esagono corrispondente all’abitazione di un automobilista e poniamo un indice discreto  $\tau = 0$  corrispondente al numero di spostamenti effettuati ad un certo punto della dinamica.  $U(\tau)$  indicherà l’insieme delle aree note all’automobilista, sia già esplorate che non ancora visitate al  $\tau$ -esimo spostamento (quindi  $U(0) = \{H_0\}$ ). Definiamo poi l’insieme delle aree note e visitate  $U_D(\tau)$  che sarà un sottinsieme di  $U(\tau)$  e al tempo  $\tau = 0$  vale  $U_D(\tau) = \{H_0\}$ .

La **regola di espansione** definisce come cresce  $U(\tau)$  e viene applicata ogni qual volta la dinamica dell’utente lo porta in un’area  $H_\tau$  visitata per la prima volta. Questa regola è affine al meccanismo di “triggering” nei modelli di dinamica dell’innovazione [20]. In particolare, si aggiungono nuove aree ad  $U(\tau)$  in sequenza con la seguente regola:

- a) Si sceglie una distanza  $d > 0$  da una distribuzione  $P(d) \propto d^{-\gamma_1}$
- b) Si definisce l’insieme  $V = \{H: d(H, H_\tau) = d \wedge H \notin U(\tau)\}$  delle aree non esplorate e non conosciute a distanza  $d$  da  $H_k$
- c) Si sceglie un  $H \in V$  con una probabilità  $P(H) \propto Pop(H)$ , proporzionale alla popolazione degli esagoni in  $V$  e si aggiunge ad  $U(\tau)$

Da notare che rispetto al report precedente, abbiamo applicato un cut-off alla distribuzione  $P(d) \propto d^{-\gamma_1}$  per distanze superiori ai 1000km. Questo rende la distribuzione sempre normalizzabile e ci permette di rilassare l’ipotesi  $\gamma_1 > 1$ .

Partendo dalle condizioni indicate a  $\tau = 0$  si assegna ad ogni elemento di  $U(0)$  un peso  $w(H) = 1$ .

La dinamica del modello, tenendo a mente la regola di espansione, segue i seguenti punti supponendo di essere arrivati allo spostamento  $\tau$  nell'area  $H_\tau$ :

- 1) Si sceglie un  $H \in U(\tau)$  secondo una probabilità  $P(H) \propto w(H)$ .
- 2) Definiamo il sottinsieme di  $U(\tau)$  di elementi  $\hat{H}$  con lo stesso peso di  $H$ ,  $U_w(\tau) = \{\hat{H} \in U(\tau): w(\hat{H}) = w(H)\}$
- 3) Scegliamo un elemento di  $U_w(\tau)$  con probabilità  $P(\hat{H}) \propto d(\hat{H}, H_i)^{-\gamma_2}$
- 4) Similmente a quanto fatto nel punto (2) definiamo il sottinsieme di  $U_w(\tau)$  che hanno la stessa distanza di  $\hat{H}$  da  $H_k$ :  $U_w^d(\tau) = \{\bar{H} \in U_w(\tau): d(\bar{H}, H_\tau) = d(\hat{H}, H_\tau)\}$
- 5) Scegliamo quindi la prossima area in cui spostarsi  $H_{\tau+1} \in U_w^d(\tau)$  con probabilità proporzionale alla popolazione  $P(H_{\tau+1}) \propto Pop(H_{\tau+1})$
- 6) Si aumenta il suo peso  $w(H_{\tau+1})$  di una quantità pari a  $\rho$
- 7) Se  $H_{\tau+1}$  non è mai stato visitato prima, ossia  $H_{\tau+1} \notin U_D(\tau + 1)$ , si aggiunge a quest'insieme e si usa la **regola di espansione**.
- 8) Si incrementa  $\tau$  di 1
- 9) Si calcola il tempo di percorrenza  $t_{travel}$  utilizzando un legge empirica che lega il tempo di viaggio alla distanza tra i due esagoni.
- 10) Si estrae un tempo di sosta  $\delta t$  dalla distribuzione empirica dei tempi di sosta.
- 11) Si incrementa  $t$  di  $t_{travel} + \delta t$

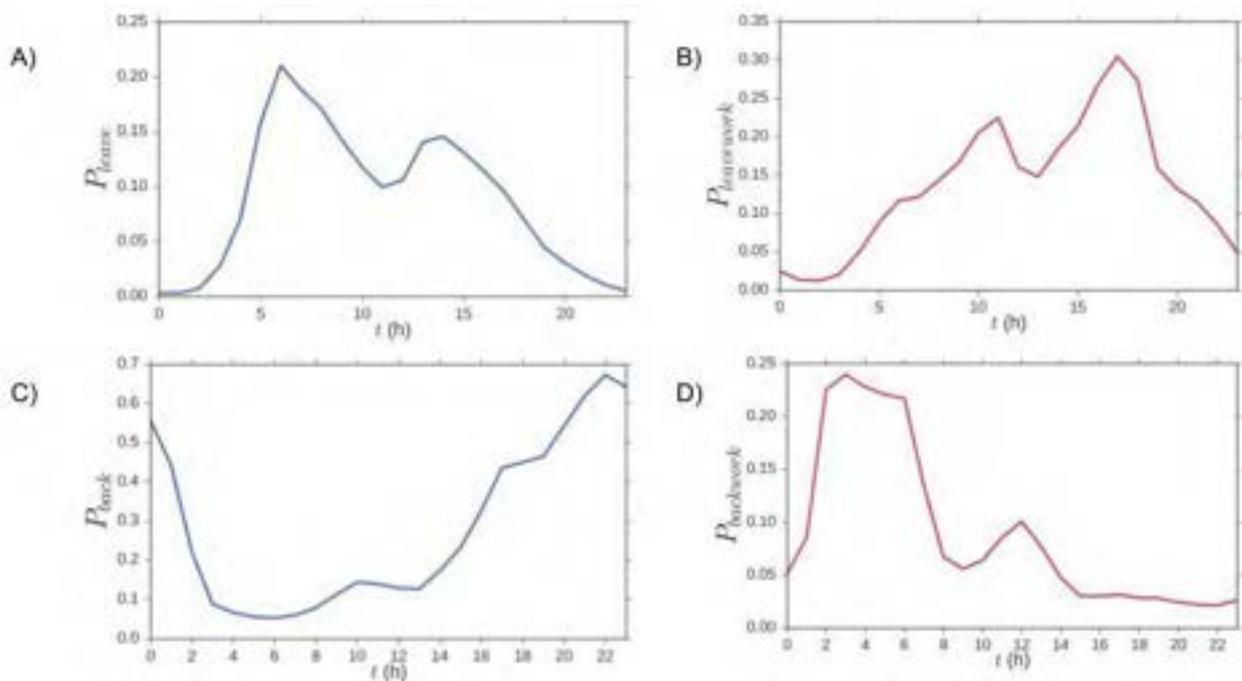
In questo modo si riesce a generare una sequenza  $H_\tau$  di stop, ciascuno con un'area di provenienza  $H_{\tau-1}$ , un tempo di sosta  $\delta t$  ed un tempo di viaggio per raggiungerlo  $t_{travel}$ .

A questo modello si aggiunge un ulteriore livello, che modella il rientro a casa in determinati momenti della dinamica di ogni automobilista. Questa modifica è stata introdotta al fine di ridurre il traffico notturno, privilegiando l'attività giornaliera. In questo caso dopo aver controllato se l'utente si trova a casa al passo  $\tau$ , si eseguono dei check per fargli lasciare l'abitazione, farlo rientrare o fargli eseguire la normale dinamica esplorativa secondo delle probabilità empiriche dipendenti dall'ora del prossimo spostamento e ricavate dai dati OCTOTELEMATICS. Questo modello tuttavia è risultato inefficiente nella sua capacità di riprodurre due principali picchi di attività la mattina e nel pomeriggio. Pertanto si è deciso di inserire un ulteriore constraint di ingresso a lavoro nel modello di attività circadiana.

## 2.2 Generatore di Traiettori Sintetiche: nuova dinamica circadiana

Similmente a quanto fatto per l'identificazione delle abitazioni è possibile identificare il luogo di lavoro di ciascun veicolo nei dati OCTOTELEMATICS. La zona di abitazione è stata identificata considerando tutti gli esagoni in cui è avvenuta almeno una sosta tra le 18 di sera e le 6 di mattina di un giorno successivo. Tra tutti questi è stato poi selezionato l'esagono col tempo di sosta complessivo maggiore come potenziale zona di residenza. Una volta individuata l'abitazione si identificano tutti gli stop con almeno una sosta tra le 6 di mattina e le 18 di sera dello stesso giorno. Il luogo di lavoro è assunto essere quello che massimizza il prodotto tra la distanza con l'abitazione e il tempo totale di sosta, questo seguendo un altro esempio noto in letteratura [17].

Similmente alle probabilità di rientro in casa e di partenza dall'abitazione, possiamo stimare le probabilità di ingresso a lavoro e di partenza da lavoro per ogni ora della giornata. Queste quattro distribuzioni sono riportate in **Figura 2**.



**Figura 2. Distribuzione della probabilità di uscita dalla propria abitazione (A), di uscita da lavoro (B), di rientro in abitazione (C) e di rientro a lavoro (D) in ogni ora della giornata.**

Supponendo di trovarsi allo spostamento  $\tau$  ed al tempo reale  $t$  (corrispondente all'ora  $h$  della giornata):

- Se il veicolo non è ne a casa ne a lavoro:
  - Con probabilità  $P_{back}(h)$  il veicolo rientra a casa, si incrementa il tempo  $t$  del tempo di viaggio necessario per il viaggio di rientro e si inizializza il tempo di sosta a casa  $\delta t_{home} = 0$
  - Con probabilità  $P_{backwork}(h)$  il veicolo rientra a lavoro, si incrementa il tempo  $t$  del tempo di viaggio necessario per il viaggio di rientro e si inizializza il tempo di sosta a casa  $\delta t_{work} = 0$
  - Con probabilità  $1 - P_{back}(h) - P_{backwork}(h)$  il veicolo continua con la normale dinamica di esplorazione
- Se il veicolo si trova a casa:
  - Con  $P_{leave}(h)$  lascia l'abitazione ed esegue la dinamica normale di esplorazione
  - Con  $1 - P_{leave}(h)$  rimane in abitazione e si aumentano  $\delta t_{home}$  e  $t$  di 60 minuti.
- Se il veicolo si trova a lavoro:
  - Con  $P_{leavework}(h)$  lascia il lavoro ed esegue la dinamica normale
  - Con  $1 - P_{leavework}(h)$  il veicolo rimane a lavoro e si aumentano  $\delta t_{work}$  e  $t$  di 60 minuti.

Ogni qual volta il veicolo lascia casa o il lavoro, viene registrata nella traiettoria la sosta con il corrispondente  $\delta t_{home}$  o  $\delta t_{work}$ . Lo schema del modello con il nuovo vincolo è riportato in **Figura 3**.

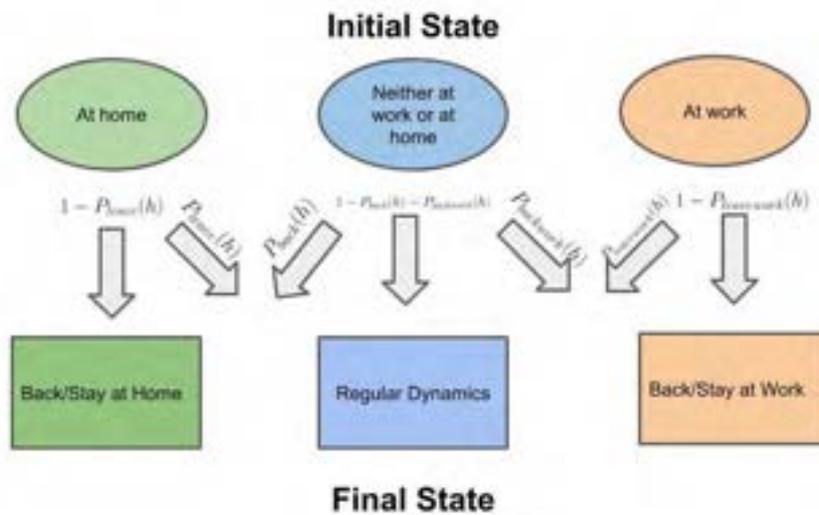


Figura 3. Schema del generatore di traiettorie sintetiche con l'aggiunta del vincolo di rientro a casa e lavoro.

L'introduzione di questo nuovo ingrediente risolve in parte il problema del doppio picco non presente nel caso con solo vincolo di ritorno in abitazione, mostrato in Figura 4. La dinamica notturna sembra ancora troppo alta rispetto a quella osservata nei dati, suggerendo ulteriori miglioramenti che potrebbero essere apportati alla dinamica circadiana.

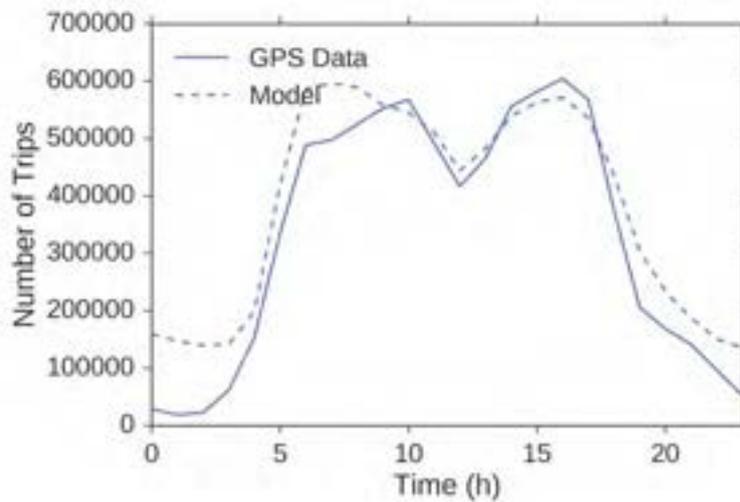
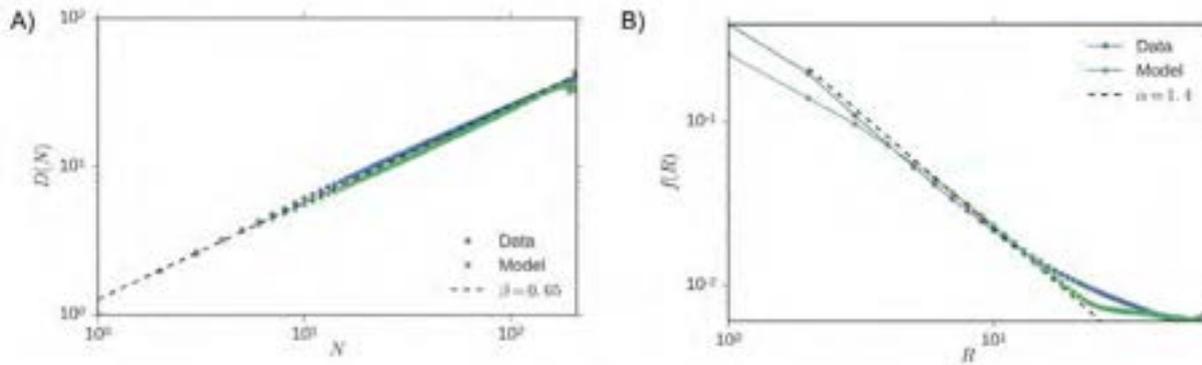


Figura 4. Numero di viaggi per ora nei dati OCTOTELEMATICS (linea continua) e ottenuti dal modello (linea tratteggiata).

### 2.3 Generatore di Traiettori Sintetiche: Calibrazione con nuovi dati GPS

Il modello introdotto nel paragrafo precedente richiede la calibrazione di 4 parametri, specificatamente  $\rho$ ,  $\nu$ ,  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$ . Per semplicità, scegliamo  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$  dato che si possono raggiungere buoni risultati anche con questa scelta che riduce la dimensione dello spazio dei parametri. Al fine di scegliere i parametri, si può notare che il modello lavora su due livelli differenti: il livello della dinamica di innovazione [17] ed il livello spaziale di triggering di nuove aree e della loro esplorazione. Questi due livelli sono influenzati rispettivamente dai parametri  $(\rho, \nu)$  e  $\gamma$ . Nella nostra procedura di calibrazione, iniziamo dal selezionare i parametri del primo livello in maniera tale che il modello riproduca correttamente le leggi di Heaps e Zipf [13,14] osservate nei dati. Queste possono essere osservate in **Figura 5** dove appare evidente che l'esponente  $\beta$  della legge di Heaps, corrispondente all'esponente  $\alpha = 1/\beta$  della legge di Zipf, ha il valore  $\beta \propto 0.65$ . Il modello di innovazione introdotto in [17] e qui utilizzato, prevede che questo valore sia raggiunto per tutte le coppie di parametri  $(\rho, \nu)$  tali che  $\nu/\rho = 0.65$ . Tuttavia l'introduzione della dinamica circadiana nel nostro caso ha ridotto il tasso di esplorazione, per cui è di fatto necessario avere un rapporto più alto tra i parametri di rinforzo e triggering. Si osserva che  $\beta \propto 0.65$  si ottiene per tutte le coppie  $(\rho, \nu)$  tali che  $\nu/\rho = 0.85$ , pertanto tutte le coppie  $(\rho, \nu) \in \{(1.2,1), (2.2,2), (3.5,3), \dots\}$  sono potenziali candidati alla corretta riproduzione dei risultati empirici.

**Figura 5. Legge di Heaps (A) e Zipf (B) ottenuta dai dati OCTOTELEMATICS (blu) e dal modello (verde) di generazione**



delle traiettorie sintetiche

Al fine di scegliere la migliore combinazione di parametri, iniziamo dal fissare una coppia  $(\rho, \nu)$  col giusto rapporto e poi variamo  $\gamma$ . Per ogni tripletta di parametri, calcoliamo la matrice asimmetrica  $W_{model}(H_i, H_j)$  di cui ciascun elemento rappresenta la percentuale di viaggi in uscita dall'esagono  $H_i$  sono diretti verso l'esagono  $H_j$ . Questa matrice è ottenuta simulando lo stesso numero di veicoli presenti nei dati OCTOTELEMATICS per lo stesso periodo di tempo dei dati. Pertanto è possibile confrontarla con  $W_{exp}(H_i, H_j)$ , che misura la percentuale di flusso da  $H_i$  a  $H_j$  nei dati empirici. La miglior combinazione di parametri si avrà per il minimo della funzione:

$$C(W_{exp}, W_{model}) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i < j} |W_{exp}(H_i, H_j) - W_{model}(H_i, H_j)| \quad (1)$$

Che misura la distanza media tra gli elementi della matrice ottenuta col modello e quella sperimentale. I risultati per le varie triplette  $(\rho, \nu)$  e  $\gamma$  si possono vedere in **Figura 6 (A)**. All'aumentare del valore della coppia  $(\rho, \nu)$  si osserva tipicamente un incremento del valore di  $C(W_{exp}, W_{model})$ , mentre tenendo fissa questa coppia e variando  $\gamma$ , si ottiene un minimo per un valore che sta nell'intervallo. Assumiamo quindi come migliori valori  $\rho = 1.2$ ,  $\nu = 1$  e  $\gamma = 1.4$  che risultano quelli per cui si ha il minimo  $C(W_{exp}, W_{model})$  osservato.

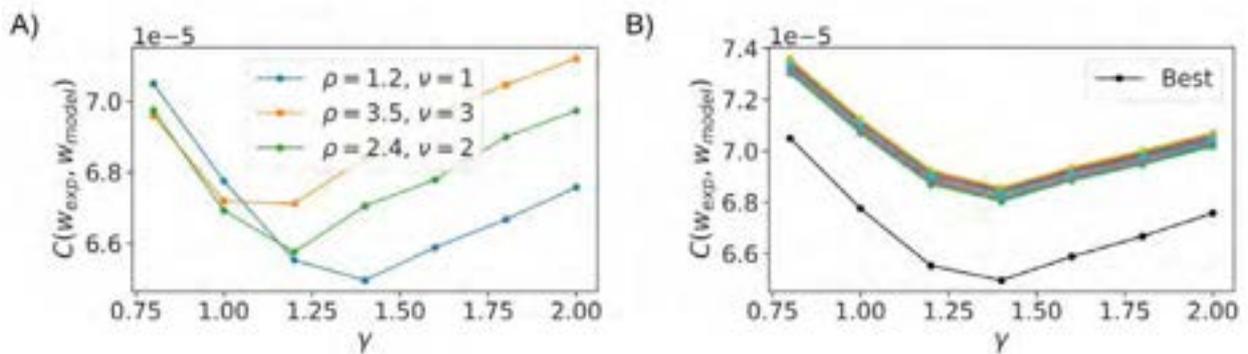


Figura 6. Curve di validazione a parametri del modello di innovazione fissati al variare del parametro gamma (A). Stesse curve ottenute con i nuovi dati OCTOTELEMATICS (B),

Al fine di verificare la robustezza del risultato trovato, abbiamo deciso di testare i parametri osservati su un dataset più aggiornato di traiettorie GPS. Questo dataset, fornitoci da ENEA, copre il 10% delle traiettorie GPS nell'area metropolitana di Roma e ha per il resto le stesse caratteristiche di quello utilizzato in precedenza. Ai fini del nostro test, abbiamo realizzato 100 sotto campioni da circa  $10^6$  traiettorie scelte a caso da quello nuovo e per ciascuno di essi abbiamo ricalcolato la curva di  $C(W_{exp}, W_{model})$  al variare di  $\gamma$  per  $\rho = 1.2$  e  $\nu = 1$ . Queste curve si possono osservare in Figura 6 (B), in cui sono paragonate a quella ottenuta col primo campione di traiettorie GPS. Se quest'ultima curva si trova sempre sotto le altre, dimostrando una peggiore aderenza del tra campione di test e modello che in ogni caso è da attendersi, il profilo della curva rimane invariato suggerendo di nuovo un minimo per  $\gamma = 1.4$ .

Una volta trovati i parametri ottimali, si procede con un "oversampling" ossia si generano tante più traiettorie possibili scegliendo di volta in volta la coppia "abitazione-lavoro" in maniera casuale, pesando col numero di volte che occorre nel dataset OCTOTELEMATICS. Sono state generate 1200000 traiettorie sintetiche che poi sono state salvate in un database MongoDB. Tale database verrà poi interrogato dal simulatore di comportamenti di ricarica. Il database salvato è una collezione di file .json in cui sono presenti i seguenti campi:

- **car\_id**: identificato unico della traiettoria
- **home**: codice identificativo dell'esagono di residenza
- **work**: codice identificativo dell'esagono di lavoro
- **trajectory**: la traiettoria sintetica generata

Il campo **trajectory** è a sua volta una lista di json ciascuno rappresentati uno stop della traiettoria generata. Ogni punto contiene i seguenti campi"

- **id**: il codice identificativo dell'esagono di stop
- **t\_arr**: tempo di arrivo in secondi a partire dall'inizio della simulazione
- **t\_dep**: tempo di partenza in secondi a partire dall'inizio della simulazione
- **dt**: tempo di sosta in secondi

## 2.4 Simulatore comportamenti di ricarica

La modellizzazione dei comportamenti di ricarica soffre della mancanza di informazioni sui comportamenti realistici che i possessori di auto elettriche hanno durante la loro giornata. Al fine di limitare le assunzioni riguardo a questi comportamenti, è stato elaborato un modello di comportamenti di ricarica minimalista, basato sul generatore di traiettorie sintetiche, ma che ben si presta a future modifiche nel caso la letteratura scientifica porti nuova luce su questo fenomeno. Il modello introdotto nel precedente report è stato ampliato in questo secondo anno di attività in modo da includere i vari elementi sviluppati dagli altri partner del progetto: in particolare, i modelli di consumo sviluppati da ENEA dipendenti dalla temperatura, e gli scenari Park'n'Ride sviluppati da Roma 3. Escludendo gli scenari Park'n'Ride, il modello dipende dai parametri:

- $N_{cars}$ , il numero totale di veicoli elettrificati
- $N_{columns}$ , il numero di colonnine di ricarica (al minimo  $N_{columns} = 141$ , corrispondenti alle colonnine pianificate dall'amministrazione dell'Area Metropolitana)
- $N_{days}$ , il numero di giorni di simulazione
- La data di inizio simulazione (giorno e mese)
- $p_{thresh}^v$ , la percentuale di carica rimanente nella batteria sotto alla quale l'automobilista vuole ricaricare se a casa o sono presenti infrastrutture di ricarica
- $\delta t_{thresh}^v$ , il tempo si sosta minimo sopra al quale l'automobilista vuole ricaricare se a casa o sono presenti infrastrutture di ricarica

Una volta impostati questi parametri, il simulatore genera una griglia esagonale con la stessa struttura di quella usata per il generatore di traiettorie. Su di essa poi posiziona in automatico le 141 colonnine nella pianificazione dell'area metropolitana, così che ciascun esagono contenga quelle con le coordinate che ricadono nella sua area. Se  $N_{columns} > 141$  ne vengono posizionate di ulteriori in maniera casuale sulla griglia, in modo da servire maggiormente le aree in cui si hanno tendenzialmente più soste. In pratica, ogni colonnina viene assegnata ad un esagono  $H$  con probabilità  $p(H) \propto N_{stops}(H)$ , dove  $N_{stops}(H)$  è il conteggio totale di stop effettuati in quell'area nei dati OCTOTELEMATICS.

Da notare che si assume che ogni colonnina possa ospitare 2 veicoli alla volta in ricarica. Pertanto se  $n_{col}(H)$  è il numero di colonnine in  $H$ ,  $2n_{col}(H)$  è il numero massimo di auto in sosta in  $H$  che possono stare in carica nello stesso momento. Indicando  $n_{charge}(H, t)$  il numero di auto elettrificate in carica nelle colonnine in  $H$  al tempo  $t$ , se  $n_{charge}(H, t) > 2n_{col}(H)$  nessun altro veicolo potrà caricare al tempo  $t$ . La potenza erogata dalle colonnine si assume essere di tipo "accelerato" e costante nel tempo [20], così che un veicolo in carica per un tempo  $\delta t$  aumenterà la sua carica di una quantità

$$\eta(\delta t) = w\delta t(2),$$

dove  $w = 22kW$ . Nel caso di ricarica domestica, ossia eseguita nel garage della propria abitazione la formula (2) non cambia, se non che  $w = 2.7kW$

Una volta inizializzata la distribuzione delle colonnine, vengono estratte  $N_{cars}$  traiettorie sintetiche da un database di circa 1.2 milioni di veicoli, simulati con il modello di generazione con i parametri ottimali. A ciascuna di queste traiettorie viene assegnata un certo "segmento" di veicolo elettrico che ne determina i consumi e la capacità del serbatoio. Le frazioni di questi veicoli sono tali da rispecchiare il mercato dei veicoli elettrici italiano

del 2017 e sono riportate, insieme alla capacità dei sebatoi ed ad un coefficiente che regola i consumi nella Tabella 1.

Segmento	Frazione di Mercato	Capacità (kW)	$C_i$
A	7.8%	20	0.812
B	39.2%	25	0.902
C	27.2%	30	1
D	14.4%	70	1.125
E	11.4%	90	1.125

Tabella 1. Distribuzione dei segmenti dei veicoli elettrici, capacità delle batterie e coefficienti dei consumi.

Una volta specificata la tipologia di veicolo, i consumi dovuti ad un viaggio dipendono dalla lunghezza dello stesso, dalla velocità con cui è effettuato, dalla temperatura dell’ambiente al tempo in cui è effettuato un viaggio ed al tipo di veicolo. La formula per il calcolo del consumo di un viaggio è stata ottenuta dal report prodotto da ENEA l’anno precedente [20]. Ipotizzando che un veicolo abbia percorso lo spazio  $l$ (espresso in Km) ad una velocità media  $v$ (espressa in km/h), la quantità di energia consumata è data da :

$$q(v, l, T, C_i) = [l(a_1 v^2 + a_2 v + a_3)]C_i r(T)(3),$$

dove  $a_1 = 2.33417 \times 10^{-5} kW h^2 / km^2$ ,  $a_2 = -1.785922 \times 10^{-3} kW h / km^2$ ,  $a_3 = 1.75855872 \times 10^{-1} kW$ ,  $C_i$  è il coefficiente dipendente dal segmento del veicolo e  $r(T)$  è un coefficiente che dipende dalla temperatura dell’ambiente al momento del viaggio, dato da

$$r(t) = (EC(T) - EC_{min}) / EC_{min}(3),$$

dove  $T$  è la temperatura,  $EC_{min} = 166.17W$  e

$$EC(T) = \sum a_n T^n(4)$$

è una funzione empirica dipendente dalla temperatura. I coefficienti sono  $a_1 = 0.395$ ,  $a_2 = -0.0022$ ,  $a_3 = 9.1978e - 5$ ,  $a_4 = -3.9249e - 6$ ,  $a_5 = 5.2918e - 8$  e  $a_6 = -2.0659e - 10$ . I dati delle temperature sono forniti da ENEA e permettono di sapere per ogni esagono, la temperatura in ogni momento dell’anno a passi di 15 minuti. Per ogni viaggio è assunta la temperatura al momento e al luogo della partenza come quella valida per tutto il viaggio successivo.

Una volta assegnati i modelli dei veicoli, si assegna a ciascuno di essi una carica iniziale  $C(v) = C_0(v)$  uguale al massimo del segmento corrispondente. Da notare che per ciascuno si può quindi definire una carica di soglia  $C_{thresh}(v) = p_{thresh}^v C_0(v)$  sotto alla quale l’automobilista tenderà di ricaricare. A questo punto si considerano tutte le traiettorie e si ordina ciascuno dei loro spostamenti in un’unica lista, ordinati secondo il tempo di partenza:  $L = \{(v, H_{arr}, H_{dep}, t_{dep}, t_{arr}, \delta t), \dots\}$ .

In altre parole ciascun elemento della lista riporta la macchina  $v$  che ha effettuato lo spostamento, le aree di partenza e arrivo  $H_{dep}$  e  $H_{arr}$ , i tempi di partenza e arrivo  $t_{dep}$  e  $t_{arr}$  ed il tempo di sosta  $\delta t$  in  $H_{arr}$ .

Ai fini di questa simulazione i tempi sono discretizzati in passi da 1 minuto. All'inizio della simulazione, inizializziamo contatore del numero di veicoli in carica ad un dato tempo  $n_{charge}(H, t) = 0$  nelle aree in cui sono presenti colonnine per ogni tempo  $t$ .

Quindi si prosegue come segue, partendo dal primo elemento di  $L$ :

- 1) Si calcola il consumo nello spostamento da  $H_{dep}$  a  $H_{arr}$  utilizzando l'equazione (3) e si diminuisce  $C(v)$  di quella quantità corrispondente. Per fare questo, si considera la temperatura nel luogo di partenza e al tempo di partenza e si tiene conto del fattore  $C_i$  relativo al modello del veicolo.
- 2) Se  $H_{arr}$  è l'area di residenza del veicolo  $v$ , si eseguono i controlli  $C(v) < C_{tresh}(v)$  e  $\delta t < \delta t_{tresh}^v$ : se una di queste condizioni risulta verificata il veicolo esegue la ricarica domestica e la sua carica è aumentata di  $\eta(\delta t)$  secondo l'equazione (2) e senza poter eccedere la quantità massima di carica  $C_0$ . Quindi si passa punto (5).
  - a) Se in  $H_{arr}$  sono presenti delle colonnine di ricarica:  
Si controlla sia verificato  $n_{charge}(H_{arr}, t) < c_{charge} n_{col}(H_{arr})$  per almeno un intervallo di tempo  $I_{charge} = [t_1, t_2]$  compreso tra  $t_{arr}$  e  $t_{arr} + \delta t$ .
  - b) Se questo non è vero, la ricarica non è possibile e si passa punto (5).
  - c) Altrimenti si eseguono i controlli  $C(v) < C_{tresh}(v)$  e  $\delta t < \delta t_{tresh}^v$ : se una di condizioni queste è verificata il veicolo esegue la ricarica ad una colonnina, la sua carica è aumentata di  $\eta(t_2 - t_1)$  e si incrementa  $n_{charge}(H_{arr}, t)$  di 1 per ogni  $t \in I_{charge}$ .
- 3) Se la carica finale  $C(v)$  risulta zero o negativa, il veicolo ha finito la carica e non può più muoversi. Ogni altro spostamento di  $v$  sarà ignorato.
- 4) Si passa all'elemento successivo di  $L$ .

Il punto (4) è di fondamentale importanza perché il non poter completare la propria dinamica indica che il veicolo  $v$  ha delle abitudini di spostamento che allo stato attuale sono incompatibili con la mobilità elettrica. Questo genere di simulazione, in cui non si assumono modifiche nella dinamica reale, è quindi non solo minimale nel numero di assunzioni riguardo al comportamento degli automobilisti, ma aiuta anche a stimare quanto dello scenario attuale sarebbe necessario cambiare per far fronte alle eventuali necessità future della popolazione.

Il modello finiti i giorni di simulazione impostati, selezionati inizialmente tagliando le traiettorie generate al tempo richiesto, permette di produrre vari output sotto forma di serie temporali assegnate a ciascun esagono. Ai fini di snellire i file prodotti, queste serie temporali sono aggregate a passi di 1 ora. Gli output al momento prodotti sono:

- Serie temporale del numero di veicoli elettrici parcheggiati in ogni area in ogni ora di simulazione
- Serie temporale del numero di kW richiesti ogni ora in ogni esagono per le ricariche domestiche.
- Serie temporale del numero di kW richiesti ogni ora in ogni esagono per le ricariche su colonnina.

- Serie temporale della frazione di “ricariche mancate”, ossia la percentuale di veicoli in quell’ora che volevano ricaricare ma non hanno potuto farlo per congestione di colonnine o mancanza di infrastrutture.
- Serie temporale “Vehicle2Grid Generator”, ossia la frazione di carica che i veicoli in quell’area potrebbero fornire per supportare il funzionamento di una tecnologia vehicle2grid che abbia il fine di stabilizzare il funzionamento della rete elettrica
- Serie temporale “Vehicle2Grid Storage”, ossia la carica totale che i veicoli in quell’area possono stoccare per poi essere riutilizzate in vehicle2grid in altre aree.

È importante notare il vero output del modello sono le traiettorie dei veicoli con le sequenze di stati di carica. Gli output prodotti e visualizzati al momento altro non sono che aggregazioni su questo dato microscopico e possono essere pertanto cambiate a piacere.

## 2.5 Integrazione del Modello Park’n’Ride

Il modello presentato nel paragrafo precedente differisce dal modello inizialmente sviluppato solo per l’aggiunta di diversi modelli di veicoli elettrici e delle temperature. L’integrazione degli scenari Park’n’Ride richiede invece che le traiettorie siano modificate prima di essere introdotte nel simulatore di comportamenti di ricarica. Il park’n’ride è quel fenomeno per il quale un automobilista proveniente da zone extra urbane, decide di interrompere i suoi viaggi in auto lasciando il proprio mezzo privato in un’area di scambio. Al ché, prosegue il proprio viaggio usando i mezzi pubblici.

Gli effetti del park’n’ride sulla richiesta di energia elettrica dovuta a mobilità elettrica privata possono essere molteplici: il minor consumo di batteria durante la giornata dovuto all’interruzione dei viaggi può ridurre il consumo dovuto sia a ricarica domestica sia alle colonnine all’interno dell’area urbana.

Gli scenari elaborati da Roma 3 riguardano principalmente due categorie di Park’n’Ride:

- **Scenario1:** park’n’ride indotto dalla qualità del trasporto pubblico. In questo caso i flussi di park’n’ride sono governati da un parametro che controlla l’incremento di qualità del trasporto pubblico. Aumentando tale quantità aumentano gli automobilisti disposti a lasciare il proprio mezzo in favore del trasporto pubblico.
- **Scenario2:** park’n’ride dovuto a blocchi del traffico che limitano l’accesso alle aree centrali della città, portando a un miglioramento del trasporto pubblico e quindi ad un aumento del park’n’ride.

In entrambi gli scenari, l’effetto del park’n’ride è l’aumento del flusso uscente da una determinata area verso un’area di scambio. Gli orari interessanti dal park’n’ride sono soltanto quelli della mattina, pertanto è sufficiente considerare i flussi orari dalle 6am alle 10am.

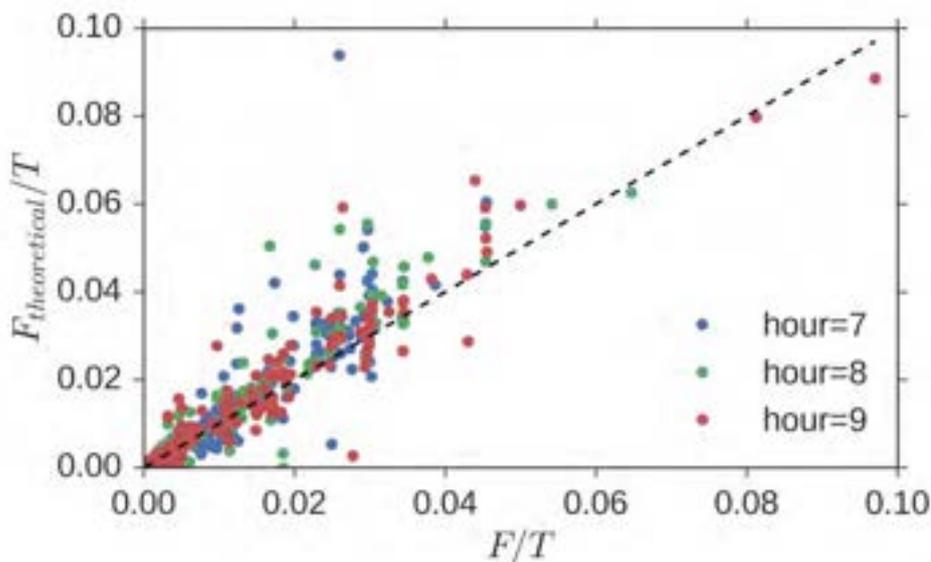
Considerata una certa ora della mattina e fissati i parametri del park’n’ride, il modello proposto da Roma 3 calcola la variazione in punti percentuali di flusso tra delle zone della città definite secondo la zonizzazione censuaria ISTAT (<https://www.istat.it/it/archivio/104317>) e le aree di parcheggio. Considerando le sovrapposizioni con la nostra griglia esagonale, possiamo sapere l’equivalente variazione percentuale di flusso park’n’ride per ogni esagono  $H$  ad una data ora  $h \in [6am, 7am, 8am, 9, am, 10am]$ . Chiamiamo questa variazione percentuale  $\delta f(H, h)$ . Una volta estratte le traiettorie dal database all’inizio della simulazione del comportamento di ricarica, possiamo calcolare i flussi orari da ogni esagono verso altri esagoni contententi parcheggi di scambio (dati forniti da Roma3). Indichiamo in oltre con  $F(H, h)$  il flusso uscente da  $H$  nell’ora  $h$  verso un’area di scambio e con  $T(H, h)$  il flusso totale uscente da  $H$  nella stessa ora. Al fine di rendere il flusso  $F(H, h)$  coerente con quello previsto dal modello park’n’ride, è necessario redirezionare alcune traiettorie con una certa probabilità. È possibile dimostrare con dei semplici calcoli, che la probabilità che una macchina in uscita da  $H$  nell’ora  $h$  sia rediretta verso un’area di scambio è data da:

$$P(H, h) = \frac{\delta f(H, h) T(H, h)}{T(H, h) - F(H, h)} \quad (5)$$

Pertanto, una volta estratte le traiettorie si vanno a ordinare tutte le aree  $H$  in cui almeno una probabilità orari  $P(H, h)$  sia diversa da 0 in ordine casuale. Seguendo l'ordine di questa lista per ogni coppia  $(H, h)$  si vanno a considerare tutte le traiettorie che partono da  $H$  all'ora  $h$  e non sono dirette verso una zona di scambio. Per ciascuna di esse con probabilità (5) si va a modificare la traiettoria nel seguente modo:

- Si eliminano tutti i viaggi successivi a quello effettuato in  $(H, h)$ , fino al primo viaggio di rientro in abitazione.
- Il primo viaggio da  $(H, h)$  viene rediretto in un'area di scambio. Roma 3 ha fornito le possibili aree di scambio accessibili per ogni zona, quindi ne viene scelta una a caso da quelle accessibili da  $H$ . Supponendo che questo viaggio sia avvenuto al tempo  $t$ , il tempo di arrivo sarà  $t_{arr} = t + t(H, H_{scambio})$ , ossia si aggiunge il tempo di viaggio fino all'area di scambio.
- Dopo l'area di scambio il veicolo viene fatto rientrare in abitazione. Dato che il viaggio di rientro richiederà un tempo  $t(H_{scambio}, H_{home})$ , il tempo di sosta nell'area di scambio è dato da  $\delta t_{scambio} = t_{arrhome} - t(H_{scambio}, H_{home}) - t_{arr}$ , dove  $t_{arrhome}$  era il tempo di rientro a casa della traiettoria non modificata.

Ovviamente nel caso in cui si ottenga  $\delta t_{scambio} < 0$  la traiettoria non può essere modificata. La precedente procedura di rimodulazione dei flussi quindi preclude molte traiettorie da possibili modifiche. È possibile stimare a priori la percentuale di spostamenti che non sarà possibile effettuare tentando la procedura di redirezionamento sull'intero campione di traiettorie sintetiche supponendo che ogni  $P(H, h)$  sia uguale a 1 e contando la percentuale di fallimenti dovuti a  $\delta t_{scambio} < 0$ . Questa percentuale si attesta attorno al 80%. Pertanto al fine di ottenere dei flussi coerenti è necessario moltiplicare l'equazione (5) per un fattore pari a circa 5. La **Figura 7** mostra un esempio del flusso teorico predetto dal modello park'n'ride di Roma 3 nel caso dello scenario 1 con un incremento della qualità del trasporto pubblico del 50% confrontato col flusso ottenuto con la procedura descritta sopra. Il numero di auto elettriche selezionato nel modello di comportamenti è pari a 400000 e gli esagoni sono stati riaggregati nelle zone istat dopo il ricalcolo dei flussi. Il flusso teorico è quindi quello stimato dal modello di Roma 3.



**Figura 7. Scatterplot della percentuale di flussi uscenti dalle zone ISTAT verso aree di scambio predetti dal modello di Roma 3 e quelli ottenuti dalla procedura di redirezionamento per varie ore della mattina. La linea tratteggiata rappresenta la bisettrice del semipiano positivo.**

## 2.6 Consumi Mobilità Pubblica Elettrificata

La mobilità pubblica giocherà un ruolo fondamentale nel futuro della mobilità elettrica. Già al giorno d'oggi sono presenti in varie città del mondo e anche nella città di Roma considerata nello studio, alcune linee di autobus elettrificate. Pertanto al fine di permettere uno studio più raffinato delle richieste di energia della mobilità elettrica in scenari futuri, l'implementazione di un layer di mobilità pubblica elettrificata non può che aggiungere valore alla piattaforma di simulazione. Allo stato attuale non esistono dati aperti che permettano di seguire il percorso di autobus o metropolitane nella loro interezza. Pertanto qua utilizzeremo dati open che permettono almeno di identificare le varie tratte percorse e li utilizzeremo, facendo delle ipotesi, per stimare i consumi di autobus elettrificati in carica una volta giunti al capolinea.

I dati presi in esame seguono la "General Transit Feed Specification" (GTFS) che definisce un formato per la condivisione di orari e percorsi dei trasporti pubblici. Un "feed" GTFS è un archivio contenente diversi file CSV. Una descrizione dettagliata della specifica è disponibile presso <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>, e i feed per il comune di Roma possono essere reperiti da <https://romamobilita.it/it/tecnologie/open-data>.

I file che compongono un archivio GTFS sono:

- **agency.txt**: associa a ciascuna delle agenzie operanti nella zona un identificatore unico, che viene usato nelle altre tabelle. Contiene inoltre informazioni su come contattare le agenzie (sito web, email, etc.).
- **stops.txt**: associa a ciascuna fermata un identificatore unico, che viene usato nelle altre tabelle, fornendone le coordinate e opzionalmente può contenerne una breve descrizione.
- **routes.txt**: associa a ciascuna linea un identificatore unico, la collega all'agenzia che effettua il servizio e fornisce informazioni sul tipo di servizio offerto (per esempio il tipo di mezzo di trasporto usato).
- **trips.txt**: associa a ciascun percorso compiuto da un mezzo un identificativo unico e collega il percorso con i relativi linea e servizio.
- **stop\_times.txt**: per ciascuno dei "trip" definiti in trips.txt indica i tempi ai quali devono essere raggiunte le varie fermate e la lunghezza del percorso compiuto ad ogni fermata.
- **calendar.txt**: indica quali dei servizi sono attivi nei diversi giorni del periodo coperto dal feed. È in alternativa possibile fornire il file calendar\_dates.txt, che contiene le stesse informazioni ma in un formato differente.

L'attuale implementazione considera uno scenario in cui si vuole mantenere il servizio inalterato dal punto di vista dell'utenza, assumendo però che una percentuale di linee siano servite da mezzi elettrici, i quali effettuano ricariche presso i capolinea. Questo implica che i movimenti degli autobus elettrici seguano quanto indicato nei file GTFS. I capolinea vengono identificati analizzando il file **stops.txt**; sono quegli stop per i quali il campo **stop\_desc** contiene la stringa "CAPOLINEA". Nel GTFS di Roma viene anche indicato per quali linee lo stop è un capolinea. Vengono esclusi quegli stop la cui descrizione contiene "CAPOLINEA INOPEROSO". La presenza di queste informazioni non è richiesta dalle specifiche del formato, per cui la procedura non è generalizzabile ad altre città. Notiamo comunque che, essendo in considerazione uno scenario futuro piuttosto che una simulazione di un processo reale, la scelta di posizionare i punti di ricarica presso ciascun capolinea è ragionevole (anche in virtù della sua semplicità) ma non l'unica possibile. Più realisticamente, nel caso di linee che non coprono grandi distanze e terminano in (o iniziano da) stop per i quali non transitano molti mezzi, si potrebbe posizionare un punto di ricarica solo ad uno degli estremi del percorso.

In questa fase dell'implementazione, i consumi vengono calcolati facendo le seguenti ipotesi semplificative:

1. Gli autobus partono a inizio giornata con uno stato di carica (SOC) della batteria pari a 90%, e alla fine di ogni corsa effettuano una ricarica che lo riporta al valore iniziale.
2. Ciascuno degli stop segnati come capolinea è in grado di ospitare un numero arbitrario di mezzi in ricarica.
3. Gli autobus hanno sempre tempo a sufficienza per effettuare la ricarica prima di dover ripartire rispettando la tabella di marcia.
4. Il tempo di ricarica è di 10 minuti, durante i quali la potenza assorbita rimane costante.
5. Gli autobus sono tutti di classe standard, con carico al 50% e capacità della batteria pari a 60 kWh.
6. L'energia viene trasferita ai veicoli in ricarica senza perdite, cioè il consumo di energia è esattamente uguale alla variazione del SOC durante la ricarica moltiplicata per la capacità della batteria.
7. Il rendimento in scarica della batteria, necessario per calcolare il SOC finale, è pari ad 1.
8. Si trascura l'effetto della pendenza del percorso sulla variazione di SOC.
9. Si assume che, nel tempo necessario ad un autobus per spostarsi da uno stop al seguente, non ci siano variazioni di temperatura.

I dati sulla temperatura provengono da rilevazioni effettuate in 11 punti differenti. Si assume che in corrispondenza di ciascuna fermata la temperatura sia uguale a quella del sensore più vicino.

È opportuno ricordare qui che il contenuto dei dati GTFS include informazioni sulle tabelle di marcia, ma non sui movimenti dei singoli veicoli. Questo implica, ad esempio, che non è possibile sapere (almeno senza assunzioni aggiuntive) se e quando un autobus cambia la linea alla quale è assegnato o torna ad / proviene da una rimessa, e quanti autobus servono la stessa linea. Tutto ciò, combinato con la necessità di mantenere inalterato il servizio, si riflette nelle assunzioni 1-3.

La risultante procedura per il calcolo dei consumi si articola come segue:

1. L'utente seleziona una data e una percentuale di linee elettrificate.
2. I dati GTFS e quelli della temperatura vengono caricati, aggregati e filtrati per giorno. Ciascun elemento del dataset così ottenuto descrive il passaggio di un mezzo per uno stop, e contiene informazioni quali nome della linea, tempo di passaggio, temperatura al momento del passaggio, identificatore dello stop, ecc.
3. Si raggruppano i dati in base al campo **trip\_id** e si ordina ciascun gruppo in base al campo **stop\_sequence**. In tal modo, l'ultimo elemento di ciascun gruppo descrive l'arrivo ad un capolinea. I gruppi nei quali l'ultimo stop visitato non è contrassegnato come capolinea vengono scartati.
4. Se la percentuale di linee elettrificate non è del 100%, un numero corrispondente di linee viene selezionato, e i gruppi di dati relativi a tali linee vengono scartati.
5. Si costruisce una serie temporale per ogni capolinea, e in corrispondenza di ogni arrivo la si incrementa per 10 minuti della quantità di energia richiesta per riportare il SOC al valore di 0.9.
6. Le serie temporali vengono aggregate sugli esagoni. Interamente, la risoluzione temporale di queste è di un secondo (la stessa dei dati GTFS), ma all'utente vengono mostrati i valori orari per evitare di dover trasferire una quantità eccessiva di dati.

A titolo esemplificativo, mostriamo alcuni risultati relativi al giorno 7 novembre 2018. La **Figura 8 (A)** mostra i consumi nelle varie aree della griglia esagonale, colorati con colori tanto più chiari tanto più è alto il consumo giornaliero. Da notare che non tutti gli esagoni sono riportati in quanto molti non contengono capolinea. La **Figura 8 (B)** mostra il ranking degli esagoni in base ai consumi.

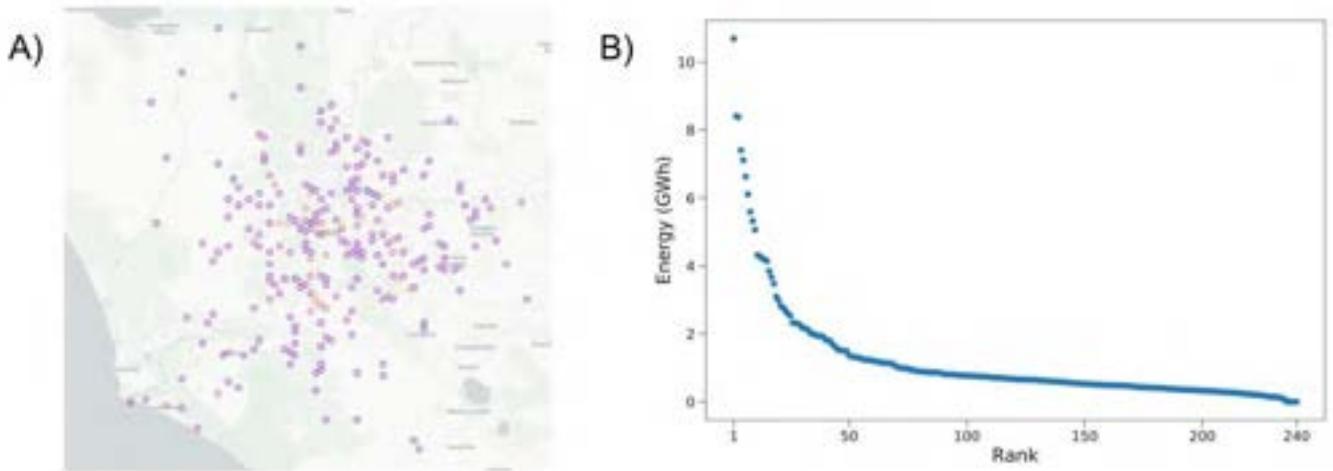


Figura 8. (A) Aree della griglia esagonale con capolinea. Gli esagoni di colore più chiaro rappresentano quelli con richiesta di energia tendenzialmente più elevata. (B) Ranking degli esagoni in base al consumo giornaliero.

Le figure **Figura 9 (A)** e **Figura 9 (B)** mostrano rispettivamente i consumi in funzione del tempo per l'intera città e per i quattro stop con consumi giornalieri più elevati. Le descrizioni nel campo **stop\_desc** di questi sono:

1	160 M. DOPO VIA TOR BELLA MONACA - CAPOLINEA 20
2	30 M. PRIMA VIA CALINDRI - CAPOLINEA 80-435-435D
3	IX CORSIA - CAPOLINEA 764-778
4	CORSIA "H" DA DX LATO VIA MARSALA - CAPOLINEA H-64

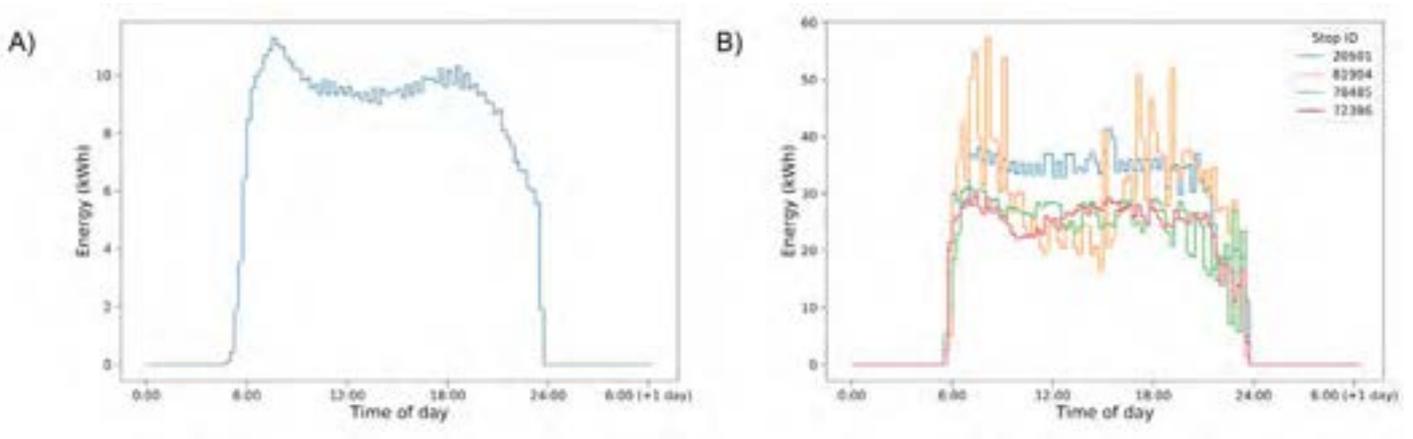
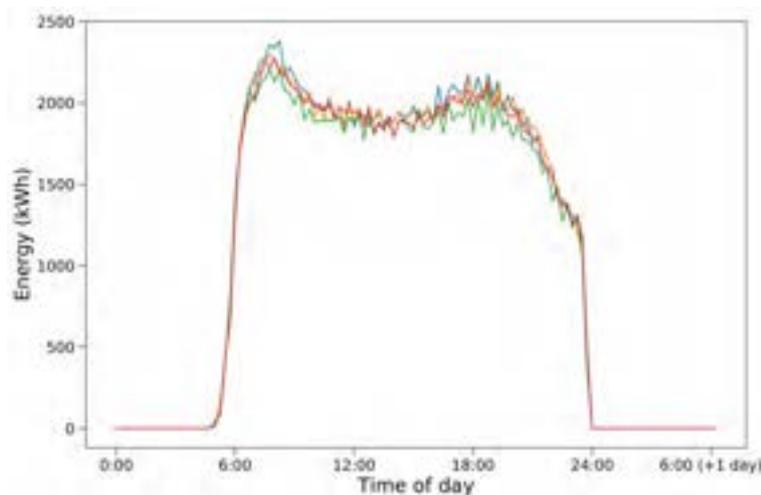


Figura 9 Richiesta di energia elettrica dovuta a mobilità pubblica elettrificata per l'intera area metropolitana (A) e per i quattro stop con richiesta più alta (B) durante una giornata.

Infine, la **Figura 10** contiene i consumi totali in funzione del tempo per quattro differenti scelte casuali di linee non elettrificate - si osserva che la variazione tra le varie realizzazioni è relativamente contenuta. Vale comunque la pena di osservare che la scelta di escludere linee in modo completamente casuale è semplicistica, dal momento che in uno scenario verosimile le linee da elettrificare sarebbero scelte in base a valutazioni (anche semplicistiche) di rapporto costi/benefici. La selezione di linee in base a criteri più realistici sarà implementata successivamente.



**Figura 10** Richiesta di energia elettrica per quattro diversi run con scelta casuale di linee elettrificate durante una giornata.

## 2.7 La Piattaforma Web

La piattaforma consente l'esplorazione di scenari di mobilità privata e pubblica elettrificata, in maniera semplice ed informativa tramite l'interfaccia di frontend. La descrizione del frontend non è tra gli scopi di questo documento in cui ci concentreremo sulla parte di backend. Qui riportiamo il fatto che la piattaforma visualizza varie aggregazioni ottenute dal simulatore di comportamenti di ricarica. Queste aggregazioni sono tipicamente serie temporali, a passi di un'ora, geolocalizzate in ciascun esagono su cui le simulazioni sono costruite. Queste aggregazioni sono:

- Number of parked cars per hour of the day: auto parcheggiate in una data ora di una giornata in un dato esagono
- Energy consumed by e-cars at home: richiesta di energia elettrica da parte della auto elettrificate parcheggiate a casa
- Energy consumed by e-cars at public charging stations: richiesta di energia da parte della auto elettrificate in carica presso colonnina
- Number of public charging stations: numero di colonnine di ricarica presenti in un'esagono.
- Total energy consumption: totale richiesta di energia elettrica in una zona
- Resident population: popolazione residente in una zona
- Percentage of failed charges: percentuale di volte che un automobilista vuole ricaricare in un'area ma non può a causa di congestione di colonnine o mancanza di infrastrutture
- Home electric energy consumption: richiesta di energia elettrica da parte delle abitazioni
- Percentage of traffic flow headed to Park'n'Ride stations: Percentuale di flusso rediretto verso un'area di scambio park'n'ride (0 se park'n'ride non presente)

- Electric energy used at bus terminals: richiesta di energia elettrica da parte di bus elettrificati in carica al capolinea (0 se mobilità pubblica elettrificata non presente)
- Travel time variations (Park'n'Ride): miglioramento dell'accessibilità temporale in un'area a seguito dell'introduzione del park'n'ride (0 se park'n'ride non presente)
- Temperature: Temperatura in gradi centigradi nell'area
- Solar Radiation: energia solare potenzialmente prodotta in un'area
- Available store energy in batteries of parked cars (Vehicle2Grid): energia potenzialmente disponibile per una tecnologia "Vehicle2Grid" nelle batterie della auto parcheggiate.
- Available energy storage capacity in batteries of parked cars (Vehicle2Grid): energia potenzialmente stipabile nelle batterie della auto parcheggiate ai fini del "Vehicle2Grid"

Il tipico formato di ciascuno di questi layer è quello di un file .json in cui le chiavi sono i codici identificativi di ogni esagono e il valore corrispondente è o la serie temporale della quantità considerata o il valore scalare nel caso la quantità non cambi nel tempo (ad esempio la popolazione).

La visualizzazione di questi dati è possibile soltanto una volta che una simulazione è stata elaborata dal backend. Le richieste di simulazione vengono gestite dall'utente tramite un form (Figura 11) in cui si possono inserire i seguenti parametri:

- Numero veicoli
- Numero di colonnine
- Mese e giorno dell'anno
- Tipo di Scenario Park'n'Ride (con parametri diversi a seconda dei casi)
- Livello di soglia di batteria sotto la quale si ricarica
- Tempo di sosta minimo sopra al quale si ricarica
- Percentuale di route di trasporto pubblico che sono state elettrificate

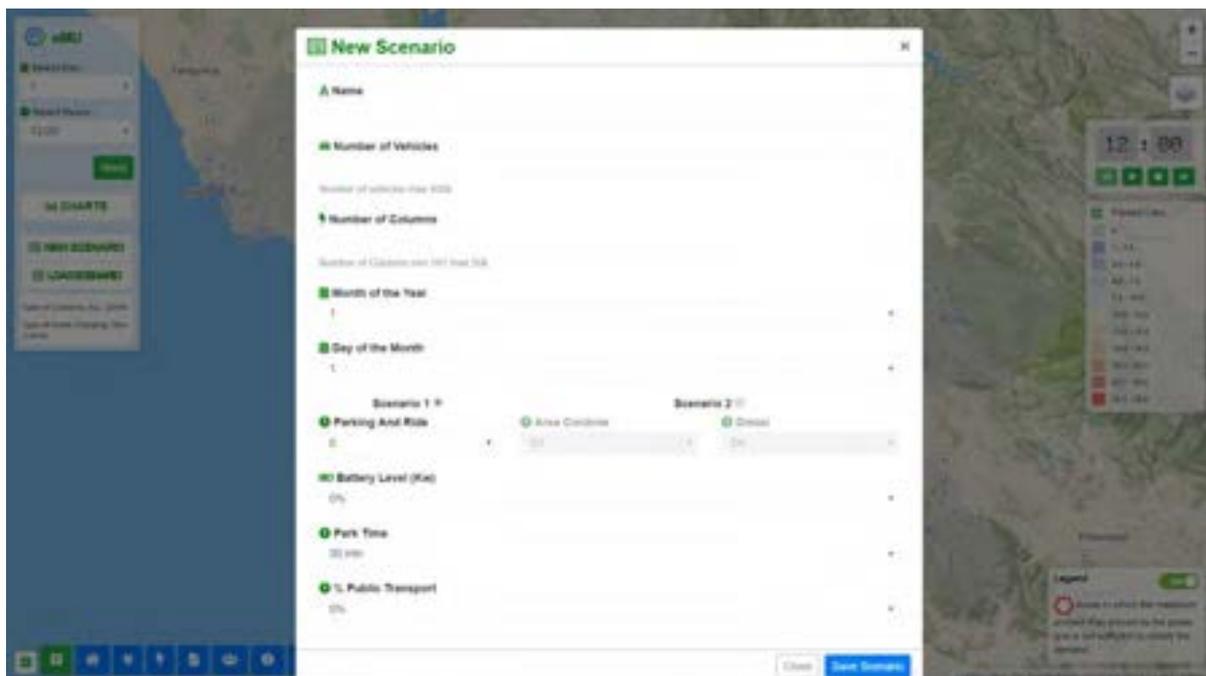


Figura 11 Il form di inserimento dei parametri di simulazione del frontend della piattaforma

I parametri inseriti vengono quindi gestiti dal backend che si occupa anche delle chiamate di visualizzazione, ossia di recuperare i dati relativi a scenari già elaborati che un utente vuole esplorare.

Il backend si divide in tre parti principali:

**Server API:** Tutte le chiamate del front-end confluiscono su di un server in ascolto realizzato con linguaggio Python. Il suddetto server a secondo della chiamata che viene richiamata dall'utente si occupa di filtrare e generare i dati da far visualizzare all'interfaccia grafica.

**Demone Python:** Questo demone scritto in python controlla ogni minuto che siano stati caricati dei nuovi dati nella tabella degli scenari, gestita dal Server API. Una volta trovato uno scenario da calcolare il demone si occupa di far partire i vari script di simulazione. La tabella che il demone controlla permette la comunicazione col Server API. La struttura della tabella è visibile in [Figura 11](#). Il campo "done" prevede tre valori: 0 → in lista; 1 → in calcolo; 2 → completo. Il calcolo è lanciato dal demone ogni qual volta incontra un campo done uguale a 0.

**Scripts di simulazione:** questi script in Python sono principalemtn e due. Uno script si occupa del calcolo dei comportamenti di ricarica e riassume tutte le parti sviluppate da Sapienza, ENEA e Roma 3. Un altro script invece si occupa di generare i dati dei trasporti pubblici elettrificati, dell'energia solare prodotta e della temperatura. Questi dati sono automaticamente salvati da ogni script in dei file json, i cui indirizzi sono facilmente reperibili dal Server API in caso di richiesta di visualizzazione.

Struttura della tabella    Vista relazioni

#	Nome	Tipo	Codifica caratteri	Attributi	Null	Predefinito	Commenti	Extra
<input type="checkbox"/>	1 id	int(11)			No	Nessuno		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2 name	varchar(255)	utf8_general_ci		Si	NULL		
<input type="checkbox"/>	3 tot_cars	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	4 n_col_max	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	5 start_month	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	6 start_day	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	7 chosen_var_t	int(11)			Si	NULL		
<input type="checkbox"/>	8 p_thresh	double(1,1)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	9 dt_thresh	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	10 area_cordone	varchar(10)	utf8_general_ci		Si	NULL		
<input type="checkbox"/>	11 diesel	varchar(10)	utf8_general_ci		Si	NULL		
<input type="checkbox"/>	12 tiposcenario	int(11)			No	Nessuno		
<input type="checkbox"/>	13 public_transport	int(11)			Si	0		
<input type="checkbox"/>	14 done	int(11)			Si	0		

Figura 12 Tabella di salvataggio dei dati inseriti tramite il form in Figura 11

### 3 Conclusioni

In questo lavoro abbiamo presentato gli ultimi sviluppi del lavoro di Sapienza riguardo ai modelli di comportamenti di ricarica, di generazione di traiettorie sintetiche e allo sviluppo di una piattaforma web di interazione coi modelli di simulazione. Il risultato è un simulatore di scenari di mobilità elettrificata veloce e affidabile, che permette di esplorare scenari in maniera semplice, permettendo di capire le criticità del sistema. Il sistema sviluppato è versatile. Ciascuno dei suoi componenti è estendibile a seconda delle necessità dell'utente. Data una buona base dati ad esempio, è facilmente riproducibile in altre aree italiane e estere; i comportamenti di ricarica possono essere raffinati e cambiati in modo da essere coerenti con la letteratura scientifica; gli output delle simulazioni possono essere modificati a seconda delle quantità di interesse per l'utente, fintanto che rispettano il formato di "serie temporali geolocalizzate".

Il primo layer di simulazione ed il più pesante in termini computazionali è il generatore di traiettorie sintetiche. Tale generatore permette di ricreare un campione sintetico di traiettorie GPS di qualsiasi dimensione, con caratteristiche statistiche simili a quelle di un campione di traiettorie GPS di veicoli reali. Al fine di aumentare il realismo del modello in questo anno di attività è stato aggiunto un ulteriore ingrediente che riguarda la dinamica di arrivo e partenza dal luogo di lavoro.

Questo ha permesso di avere dei flussi giornalieri di viaggi emessi in ogni ora più coerenti con quelli trovati nei dati. Inoltre, si è introdotto un metodo di calibrazione dei parametri facilmente riproducibile in altri sistemi, che permette la scelta dei parametri in maniera quasi automatica. Ulteriori sviluppi di questo modello in futuro dovrebbero concentrarsi sull'introduzione di dinamiche "settimanali" (distinzione tra week-end e giorno feriali), "stagionali" (distinzione tra diversi mesi dell'anno) e una raffinazione della modellizzazione circadiana in modo da renderla più armonica col resto del modello, dato che allo stato attuale è composta da "vincoli" che più che far parte della dinamica di esplorazione dello spazio semplicemente la interrompono.

Il secondo layer, che si basa sulle traiettorie generate dal primo, riguarda la simulazione dei comportamenti di ricarica. In questo anno di attività ci si è concentrati sull'integrazione dei vari modelli elaborati dagli altri partecipanti al progetto. L'integrazione è stata risolta in molti casi in maniera naturale, semplicemente integrando direttamente i modelli come nel caso dei modelli di consumo e di temperatura, mentre in altri ha richiesto l'elaborazione di strategie integrative e modifiche alle traiettorie, come nel caso dei modelli Park'n'Ride elaborati da Roma 3. Infine, è stato sviluppato un modello di stima del consumo del trasporto pubblico elettrificato che, sebbene non accuratissimo, permette con buona approssimazione di individuare le aree di maggior impatto di un eventuale presenza massiccia di autobus elettrici.

Un'ultima importante parte del lavoro è stata dedicata all'armonizzazione dei vari layer ed al loro inserimento in una piattaforma web che permetta la visualizzazione degli output e l'interazione con i modelli in maniera semplificata. Il frontend della piattaforma è un'interfaccia grafica tramite la quale gli utenti possono vedere vari risultati che possono essere sia quantità distribuite su mappa che serie temporali relative ad una certa area. Il frontend consente tramite un form di gestire anche la generazione di nuovi scenari, inserendo il numero di veicoli elettrificati da simulare, il numero di colonnine etc. Nonostante dei tempi di calcolo non immediati, l'utente è in grado di osservare il risultato delle simulazioni abbastanza rapidamente e comprendere l'impatto delle scelte effettuate.

Il simulatore e la piattaforma sono degli ottimi punti di partenza per lo sviluppo di uno strumento complesso di supporto decisionale. Allo stato attuale l'utente non ha un controllo altissimo sulle simulazioni, ma in modo relativamente semplice è possibile aggiungere la possibilità di controllare la distribuzione dei possessori di veicoli elettrici ed il posizionamento delle colonnine o di altre infrastrutture dedicate al servizio della mobilità elettrificata. Inoltre, in sviluppi futuri sarà possibile integrare altri layer di simulazione al contempo lasciando la possibilità all'utente di poterli controllare. Modelli di congestione stradale, modelli realistici di rete elettrica

urbana ed extraurbana, modelli che gestiscono il vehicle2grid e altri modelli comportamentali sono solo alcuni esempi delle possibili espansione dell'attuale progetto.

## 4 Riferimenti bibliografici

1. A. Hunt, M. Gentzkow. "Social media and fake news in the 2016 election." *Journal of Economic Perspectives* 31.2 (2017): 211-36.
2. M. Richtel, C. Dougherty. "Google's driverless cars run into problem: Cars with drivers." *New York Times* 1 (2015).
3. M. Claudel, C. Ratti. "Full speed ahead: How the driverless car could transform cities." *McKinsey & Company*, August 14 (2015).
4. S. J. Walker. "Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think.", *International Journal of Advertising*, 33, 181-183
5. B. Brown, C. Michael, and M. James, "Are you ready for the era of 'big data'?" *McKinsey Quarterly*, 4.1 (2011), 24-35.
6. S. González-Bailón. "Social science in the era of big data.", *Policy & Internet*, 5.2 (2013), 147-160.
7. D. Lazer, et al. "Life in the network: the coming age of computational social science.", *Science*, 323.5915 (2009), 721.
8. A. Bazzani, B. Giorgini, S. Rambaldi, R. Gallotti, L. Giovannini, "Statistical laws in urban mobility from microscopic GPS data in the area of Florence. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*", 2010(05), P05001.
9. R. Gallotti, A. Bazzani, S. Rambaldi, "Towards a statistical physics of human mobility", *International Journal of Modern Physics C*, 23(09), 1250061.10. L. Pappalardo, F. Simini, S. Rinzivillo, D. Pedreschi, F. Giannotti, A. L. Barabási, "Returners and explorers dichotomy in human mobility.", *Nature communications*, 6
10. T. Franke, J. F. Krems, "Understanding charging behaviour of electric vehicle users" *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 75-89.
11. B. Monechi, I. Biazzo, V. Loreto, F. Tria, "Simulatore di scenari di elettrificazione della mobilità veicolare urbana", Report 2017
12. M. C. Gonzalez, C. A. Hidalgo, A. Barabasi. "Understanding individual human mobility patterns." *nature* 453.7196 (2008): 779.
13. H. S. Heaps, "Information retrieval: Computational and theoretical aspects." Academic Press Inc. (1978)
14. D. M. Powers, "Applications and explanations of Zipf's law", *Proceedings of the joint conferences on new methods in language processing and computational natural language learning*, (pp. 151-160). Association for Computational Linguistics.
15. R. Gallotti, A. Bazzani, S. Rambaldi, M. Barthelemy, "A stochastic model of randomly accelerated walkers for human mobility.", *Nature communications*, 7, 12600.
16. S. Jiang, Y. Yang, S. Gupta, D. Veneziano, S. Athavale, M.C. Gonzalez, "The TimeGeo modeling framework for urban motility without travel surveys.", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 24261.

17. F. Tria, V. Loreto, V. D. P. Servedio, S. H. Strogatz, "The dynamics of correlated novelties", *Scientific reports*, 4, 5890.
18. V. Loreto, V. D. P. Servedio, S. H. Strogatz, F. Tria, "Dynamics on expanding spaces: modeling the emergence of novelties", *Creativity and Universality in Language*, pp. 59-83 (2016), Springer International Publishing
19. B. Monechi, A. Ruiz-Serrano, F. Tria, V. Loreto, "Waves of novelties in the expansion into the adjacent possible", *PloS one*, 12(6), e0179303.
20. G. Valenti, C. Liberto, G. Messina, F. Spinelli, "Caratteristiche e funzionalità del simulatore di scenari urbani di mobilità elettrica", Report 2017

## 5 Curricula

### SAPIENZA UNIVERSITA' DI ROMA

Con oltre 700 anni di storia, 110mila studenti complessivi, 3.500 docenti e oltre 4.100 impiegati, tecnici e bibliotecari, la Sapienza è la prima università in Europa. La sua missione è contribuire allo sviluppo della società della conoscenza attraverso la ricerca, la formazione di eccellenza e di qualità e la cooperazione internazionale. I principali ranking universitari mondiali collocano la Sapienza ai primi posti tra gli atenei italiani, per la qualità della ricerca e della didattica, nonché per la dimensione internazionale. Nelle classifiche settoriali l'Ateneo eccelle e si qualifica come punto di riferimento per numerose discipline.

### DIPARTIMENTO DI FISICA

È in questo contesto che opera il Dipartimento di Fisica, l'Organismo di Ricerca partecipante al presente progetto. Il Dipartimento di Fisica dell'Università di Sapienza Università di Roma è l'erede naturale della tradizione di Enrico Fermi, Franco Rasetti, Ettore Majorana, Edoardo Amaldi (la scuola di Roma), ed è rinomato in tutto il mondo per l'elevata qualità della ricerca, il prestigio internazionale e la varietà dell'offerta didattica. Secondo il QS World University Rankings 2015, i corsi di studio del Dipartimento si posizionano al 22° posto al mondo (8° posto in Europa e 1° posto in Italia) nelle aree di fisica ed astronomia.

Il Dipartimento di Fisica svolge un'intensissima attività di ricerca nei maggiori settori della Fisica Moderna, sia fondamentale che applicata: **Fisica delle Particelle, Fisica della Materia, Astrofisica e Cosmologia, Fisica Teorica, Fisica Matematica e Statistica, Elettronica Cibernetica e Informatica, Biofisica, Fisica Medica, Geofisica, Fisica dell'Ambiente, Fisica e Beni Culturali, Storia della Fisica e Didattica della Fisica**. I diversi settori di ricerca differiscono per le attrezzature sperimentali, gli strumenti di calcolo e l'entità delle ricadute applicative, ma sono accomunati dal metodo di indagine e dall'approccio alla soluzione dei problemi. Tant'è vero che in molti casi settori abbastanza lontani convergono per affrontare alcune questioni fondamentali. Analogamente, teorie e metodologie sviluppate in meccanica statistica si rivelano oggi preziose nello studio del funzionamento di sistemi biologici complessi. L'attività di ricerca si estrinseca sia nella realizzazione di complessi apparati sperimentali, operanti nel Dipartimento o nei maggiori laboratori di ricerca del mondo, sia nella pubblicazione di lavori scientifici, circa 600 per anno, sulle riviste internazionali più prestigiose. Il Dipartimento ospita strutture dei maggiori enti di ricerca Italiani, quali l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia (INFM), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), l'ICRA. In totale sono attivi nel nostro Dipartimento, uno dei più grandi dell'Ateneo, circa 300 ricercatori, inclusi i docenti della Sapienza.

### IL LABORATORIO SOCIAL DYNAMICS

L'unità di ricerca coinvolta nel progetto opera proprio nell'ambito delle applicazioni interdisciplinari della Scienza della Complessità ed in particolare nell'ambito dei cosiddetti Sistemi Tecno-Sociali (<http://www.socialdynamics.it>) Sistemi 'tecno-sociali' è la locuzione usata correntemente per identificare sistemi sociali in cui la tecnologia si fonde in maniera originale e imprevedibile con aspetti cognitivi, comportamentali e sociali, propri degli esseri umani. Le nuove tecnologie della comunicazione e dell'informazione (ICT) svolgono un ruolo sempre più pervasivo per la nostra cultura e la nostra quotidianità. Questa rivoluzione non giunge evidentemente senza controindicazioni, e nelle nostre società complesse emergono costantemente nuove sfide globali che richiedono nuovi paradigmi e pensiero originale per essere affrontate: i cambiamenti climatici, le crisi finanziarie globali, le pandemie, la crescita delle città, l'urbanizzazione e i modelli di migrazione, solo per citare alcuni esempi. Il sito web del laboratorio, [www.socialdynamics.it](http://www.socialdynamics.it), offre uno spaccato delle diverse attività sui cui è attivo il gruppo di ricerca. Esempi dallo studio della dinamica dell'informazione e alla dinamica delle opinioni e delle norme ai processi di diffusione e assimilazione culturali, dalle dinamiche del linguaggio ai processi d'innovazione, dalla consapevolezza individuale ai processi decisionali, fino alle dinamiche dell'apprendimento. Agli strumenti teorici e computazionali il laboratorio affianca oggi la possibilità di realizzare dei veri e propri esperimenti sociali sul web, i quali possono essere presentati al pubblico sotto forma di gioco

al fine di aumentarne la partecipazione ([www.xtribe.eu](http://www.xtribe.eu)). Tre linee di ricerca in particolare sono importanti nell'ambito del presente progetto:

- **STUDI RELATIVI ALLA MOBILITA' UMANA** Il laboratorio negli ultimi anni ha svolto ricerche volte alla comprensione dei fenomeni legati alla mobilità umana, ossia allo spostamento degli individui di una popolazione in un determinato habitat. La comprensione dei comportamenti umani, in termini di mobilità, è infatti una sfida cruciale per il nostro tempo: da essa dipende la soluzione a numerosi problemi come la diffusione delle epidemie, la pianificazione urbanistica, la gestione sostenibile dei trasporti, ecc. Dal punto di vista del fisico obiettivo della scienza della mobilità è quello di individuare delle leggi universali capaci di descrivere, sotto diversi aspetti, la maniera in cui gli individui esplorano lo spazio che li circonda. La grande diffusione di mezzi tecnologici come telefoni cellulari e navigatori GPS ha reso possibile realizzare approfonditi studi empirici in questo settore. Dalla sequenza delle posizioni di tali strumenti si può infatti risalire direttamente a quella dell'utente, ottenendo così un campione della traiettoria descritta. La natura dei dati a disposizione consente di affrontare differenti questioni, su diverse scale spazio-temporali, che vanno dalla caratterizzazione del processo stocastico sotteso al moto degli individui allo studio dell'utilizzo del tempo nelle attività umane. Il dilagante fenomeno dell'urbanizzazione rende particolarmente importante la comprensione delle dinamiche che regolano i movimenti delle persone all'interno delle città, sia per fini teorici che di gestione ed ottimizzazione di tali processi. In questo ambito il laboratorio si occupa di diversi aspetti relativi alla mobilità: da studi sul traffico aereo, alla mobilità ferroviaria al trasporto pubblico e privato in ambienti urbani.
- **NUOVE PIATTAFORME INTERATTIVE PER LA MOBILITA' URBANA** Più recentemente il Laboratorio ha cominciato a sviluppare piattaforme interattive che mescolano in maniera virtuosa dati e simulazioni numeriche. Denominate *Gaming the future*, tali piattaforme interattive mirano a colmare il divario tra rappresentazioni fisiche e digitali dell'ambiente in cui viviamo permettendo una visualizzazione interattiva di grandi moli di dati con la possibilità per l'utente di interagire con il sistema proponendo soluzioni alternative con la possibilità di valutare in tempo reale l'efficacia di tali soluzioni mediante opportune simulazioni. Il primo prototipo di questo tipo di piattaforme è proprio dedicato alla mobilità urbana e si chiama Citychrone ([www.citycwhrone.org](http://www.citycwhrone.org)). Citychrone integra i dati del trasporto pubblico per generare mappe isocrone e mappe di accessibilità dei diversi punti di una città, fornendo a colpo d'occhio, un'immagine della città basata sui tempi di percorrenza (sempre con il trasporto pubblico) anziché sulle distanze geografiche. A partire dallo status quo gli utenti possono progettare nuove linee di metropolitane ottenendo in risposta una valutazione dell'efficacia della loro soluzione. La piattaforma Citychrone costituirà un elemento importante nella progettazione degli strumenti oggetto di questo progetto.

### **Bernardo Monechi**

Laureato all'Università degli Studi di Firenze con una tesi sui sistemi dinamica, si è poi dottorato alla Sapienza Università di Roma. Durante il dottorato ha sviluppato un forte interesse per l'applicazione di metodologie di data science a sistemi complessi allo studio di sistemi di trasporto e di mobilità urbana, presentando una tesi focalizzata proprio su questi temi. Al termine del dottorato ha lavorato come post-doc alla Fondazione ISI di Torino all'interno del progetto Kreyon, sviluppando modelli e facendo analisi dati su problematiche relative alla creatività umana. Durante questo periodo ha inoltre partecipato alla realizzazione di installazioni scientifiche di divulgazione sul tema della creatività e degli ambienti urbani. Attualmente ricercatore presso il Computer Science Lab Sony di Parigi, dove porta avanti la sua ricerca in creatività e problematiche di sostenibilità.

### **Bruno Campanelli**

Bruno Campanelli ha ottenuto la laurea specialistica in fisica presso Sapienza Università di Roma nell'anno accademico 2011-2012 con una tesi sulla dinamica di opinioni. Attualmente è studente di dottorato presso l'Istituto di Fisica Interdisciplinare e Sistemi Complessi (IFISC) dell'Università delle Isole Baleari, ed assegnista di

ricerca presso Sapienza Università di Roma. I suoi campi di esperienza sono le simulazioni ad agenti e l'analisi dati, e si occupa di ricerca su trasporto aereo e mobilità urbana. Il tema della sua tesi di dottorato è la propagazione di ritardi nelle reti aeroportuali, che è risultato nella pubblicazione di contributi nei proceedings di diverse conferenze internazionali di ricerca sul traffico aereo (SESAR Innovation Days, ICRAT, ATM Seminar). Collabora come ricercatore esterno alla piattaforma whatif-machine di Sony Computer Science Laboratories Paris.

### **Vittorio Loreto**

Vittorio Loreto è professore ordinario in Fisica dei Sistemi Complessi alla Sapienza Università di Roma e nell'istituto Complexity Science Hub a Vienna. È attualmente direttore dei SONY Computer Science Lab di Parigi dove dirige il gruppo di "Innovation, Creativity and Artificial Intelligence". La sua attività scientifica è focalizzata sulla fisica statistica dei sistemi complessi e le sue applicazioni interdisciplinari. Negli ultimi anni è stato attivo nei campi dei mezzi granulari, della teoria della complessità e dell'informazione, della teoria delle reti complesse, dell'evoluzione del linguaggio e della comunicazione, delle dinamiche sociali. Ha coordinato vari progetti a livello Europeo tra i quali il progetto "Kreyon" ([www.kreyon-project.eu](http://www.kreyon-project.eu)) che mirava alla comprensione delle dinamiche di innovazione e creatività, ed il progetto EveryAware (<http://www.everyaware.eu>), indirizzato al miglioramento della consapevolezza ambientale in contesti urbani, utilizzando tecnologie sociali di informazione. In questo frangente, ha continuato a sviluppare nuovi strumenti per il web-gaming, la computazione sociale e l'apprendimento. Ha pubblicato più di 180 articoli in riviste internazionali e conferenze ed è stato chair in vari workshop e conferenze. Recentemente ha realizzato un TED talk sulla nascita del nuovo (<https://goo.gl/8iYGh5>).