



## Un servizio di route planning per scenari di mobilità elettrica

Relatore

*Chiar.mo Prof. Luciano Bononi*

Correlatori

*Dott. Luca Bedogni*

*Dott. Marco Di Felice*

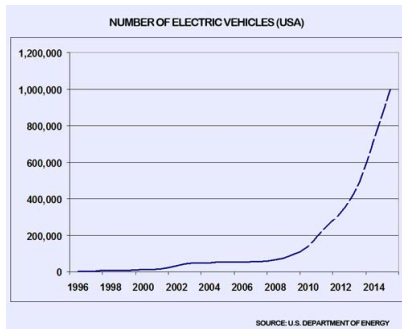
Candidato

*Marco Di Nicola*

17 Luglio 2014

# Mobilità veicolare elettrica

A partire dal 2010, il numero di veicoli elettrici (EV) registrati negli Stati Uniti è cresciuto esponenzialmente ogni 2 anni.



Vantaggi:

- ✓ Riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti (CO<sub>2</sub>).
- ✓ Riduzione dei costi di ricarica.
- ✓ Motori generalmente più efficienti di quelli a combustione interna.

Il 70% di chi non possiede un EV non lo acquisterebbe a causa della *driver range anxiety*<sup>1</sup>: timore che il veicolo rimanga senza autonomia e opportunità di ricarica.

Cause:

- ◆ Limitata autonomia di un EV: in media un centinaio di chilometri.
- ◆ Bassa densità di Electrical Vehicle Supply Equipment (o EVSE, stazioni di ricarica) in scenari suburbani.
- ◆ Considerevole durata delle operazioni di ricarica.
  - ◆ *Level 1* (120 VAC, 16 A): dalle 8 alle 12 ore.
  - ◆ *Level 2* (240 VAC, 32 A): dalle 4 alle 6 ore.
  - ◆ *Fast charge* (480 VDC, 125 A): in media 30 minuti per una ricarica dell'80%.

---

<sup>1</sup>U.S. National Energy Technology Laboratory. **Assessment of Future Vehicle Transportation Options and Their Impact on the Electric Grid.** Report DOE/NETL-2010/1466, 2011.

Iniziative:

- ◆ **Internet of Energy (ARTEMIS)**: progetto a supporto di sviluppo e diffusione su larga scala della mobilità veicolare elettrica in Europa.
  - ◆ Servizio per la prenotazione di ricariche (da Unibo e ARCES) <sup>1</sup>.

Servizi ed applicazioni:

- ◆ Localizzazione di EVSE.
  - ◆ Web (CarStations, Green eMotion, Enel Drive, Open Charge Map, PlugShare, ...).
  - ◆ Mobile (ChargePoint, Blink Mobile, ...).
- ◆ Previsione del consumo energetico (V2Anything).

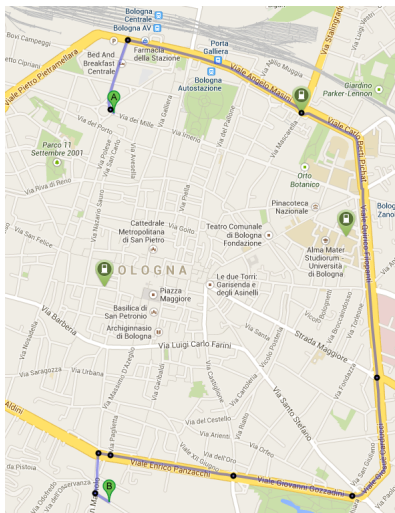
---

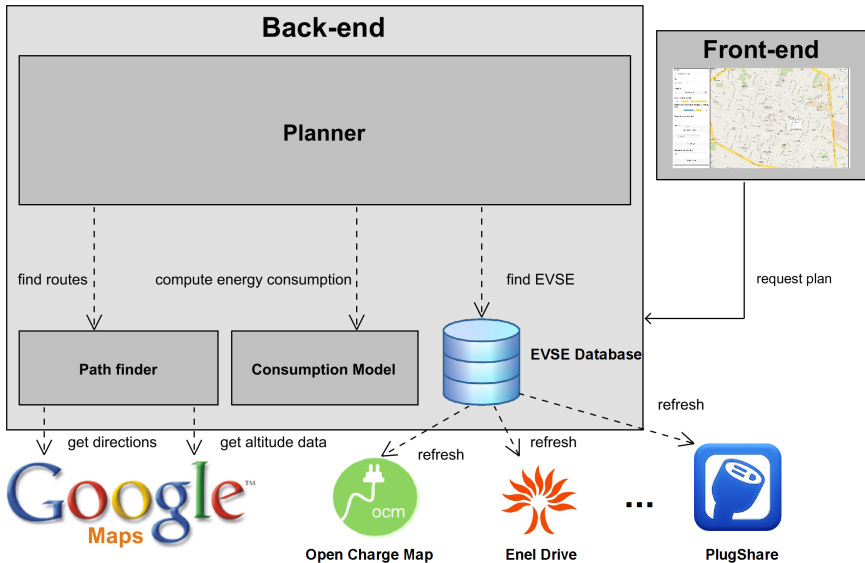
<sup>1</sup>Luca Bedogni, Luciano Bononi, Marco Di Felice, Alfredo D'Elia, Randolph Mock, Federico Montori, Francesco Morandi, Luca Roffia, Simone Rondelli, Tullio Salmon Cinotti, et al. **An interoperable architecture for mobile smart services over the internet of energy**. In World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a, pages 1-6. IEEE, 2013.

# Route planning

Dati i due punti di partenza e destinazione e un modello di EV (con relative caratteristiche):

- ◆ Pianificare un percorso fattibile, in accordo al SOC (State of Charge) della batteria.
- ◆ Considerare eventuali necessità di ricarica e posizione degli EVSE.
- ◆ Minimizzare il consumo energetico o il tempo impiegato.
- ◆ Garantire una soglia di minima carica residua (threshold) all'arrivo a destinazione.





Route planner realizzato come *web service* RESTful.

- ◆ Dialogo stateless con i client.
  - ✓ Adatto a client su dispositivi mobili.
- ◆ Invocazione dei metodi offerti attraverso la componente path dell'URL.
  - ✓ Semplice e dal minimo overhead protocollare.
- ◆ Risultati restituiti come oggetti JSON.

Strumenti utilizzati:

- ◆ Node.js: piattaforma per sviluppo di applicazioni di rete server-side.
  - ◇ Modello di I/O event-driven.
- ◆ MongoDB: DBMS non relazionale, document-oriented, per memorizzare informazioni su EVSE e veicoli.

# Indicazioni stradali

Rappresentazione dei percorsi stradali (*route*) ottenuti dalle Google Maps API.

- ◆ **Directions API**: indicazioni stradali tra due punti.
- ◆ **Elevation API**: dati altimetrici dei punti lungo un percorso.

Una *route* è una sequenza di *step*  $[s_1, \dots, s_n]$ .

Ogni *step*  $s_i$  è una tripla:

$$\langle d_i, \Delta t_i, [p_{i,1}, \dots, p_{i,m}] \rangle$$

- ◆  $d_i$ : distanza totale percorsa.
- ◆  $\Delta t_i$ : stima del tempo impiegato (con considerazione del traffico).
- ◆  $[p_{i,1}, \dots, p_{i,m}]$ : sequenza di punti equispaziati che suddividono lo step.  
 $\forall p_{i,j}$  si hanno coordinate geografiche e altitudine in metri.

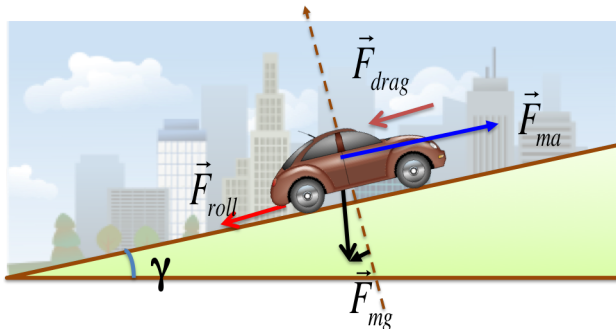
Al tratto di strada tra due punti viene applicato il modello di predizione del consumo.



# Calcolo del consumo

Somma delle quattro componenti forza applicate al veicolo:

- ◆ Forza di inerzia  $F_{ma}$ .
- ◆ Forza peso  $F_{mg}$ .
- ◆ Forza d'attrito  $F_{roll}$ .
- ◆ Resistenza dell'aria  $F_{drag}$ .

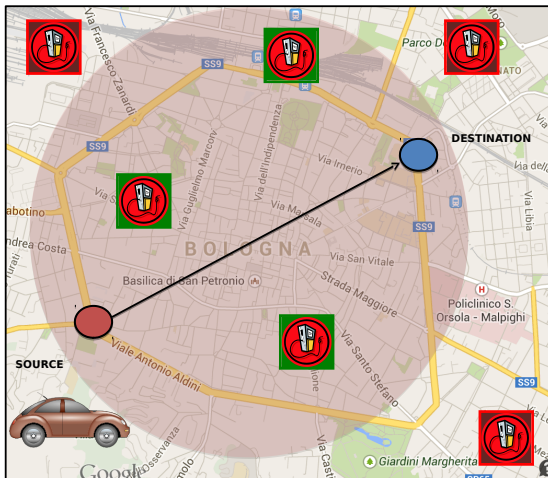


Considerazione di caratteristiche del moto (fattore di randomizzazione) e sistema di frenata rigenerativa.

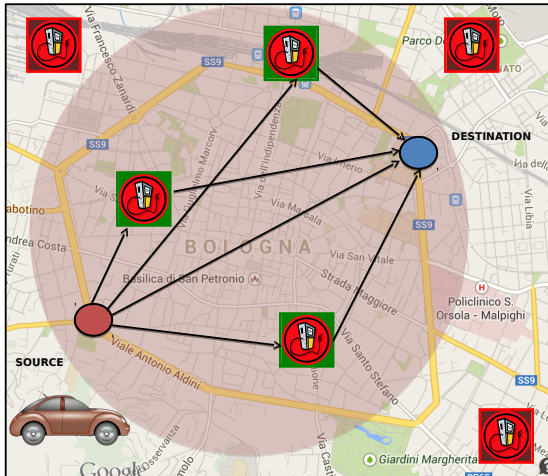
# Grafo dei percorsi

Costruzione di un grafo  $(V, E)$ , orientato e pesato, di percorsi stradali.

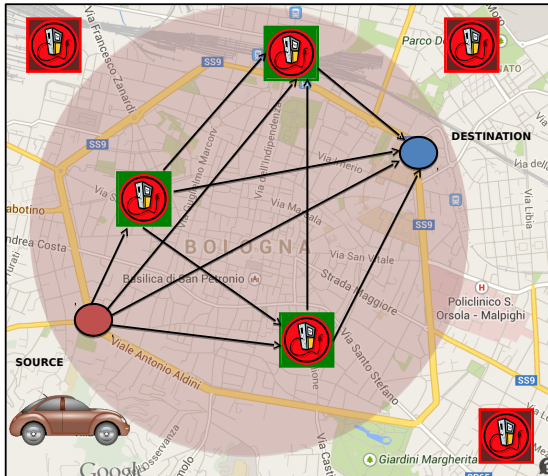
- ♦  $e \in EVSE$  aggiunta a  $V$  se  $distance(e, midpoint(s, d)) \leq distance(s, d)$ .



Aggiunta di  $(s, e), (e, d)$  a  $E, \forall e \in V$ .



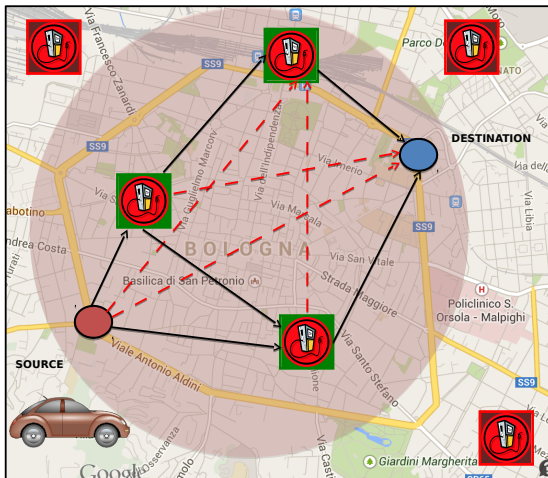
Aggiunta di  $(e_i, e_j)$  a  $E$ ,  $\forall e_i, e_j \in V. distance(e_i, d) > distance(e_j, d)$ .



# Pruning

Pruning dei percorsi  $(u, v)$  "infattibili", tali che  $SOC_u - w_{u,v} < threshold_v$ .

- ♦  $SOC_u = SOC_{MAX}$  se  $u$  è un EVSE.





# Caratteristiche del moto

Distanza (metri) fra coppie di punti che suddividono uno *step*:  $\alpha$ .

- ♦ Valore di  $\alpha$ ? Trade-off: precisione vs costo computazionale.

Velocità media sullo *step*  $s_i$ :

$$v_i = \frac{d_i}{\Delta t_i}$$

Un moto rettilineo uniforme sull'intero *step* è troppo ottimistico: introdurre variazioni casuali su ogni singolo punto  $p_{i,j}$ .

$$v_{i,j} = \mathcal{N}\left(v_i, \frac{v_i}{m}\right)$$

Distribuzione normale con media la velocità sull'intero *step* e scarto quadratico medio proporzionale al rapporto fra velocità media e numero  $m$  di punti in cui è diviso lo *step*.

# Front-end

**From:**  
Via Galliera 62, Bologna

**To:**  
44.512934,11.35717

**Vehicle:**  
Daily Electric

**State of charge (%):**  
20

**Intermediate/arrival threshold (%):**  
1

**Charging stations limit:**

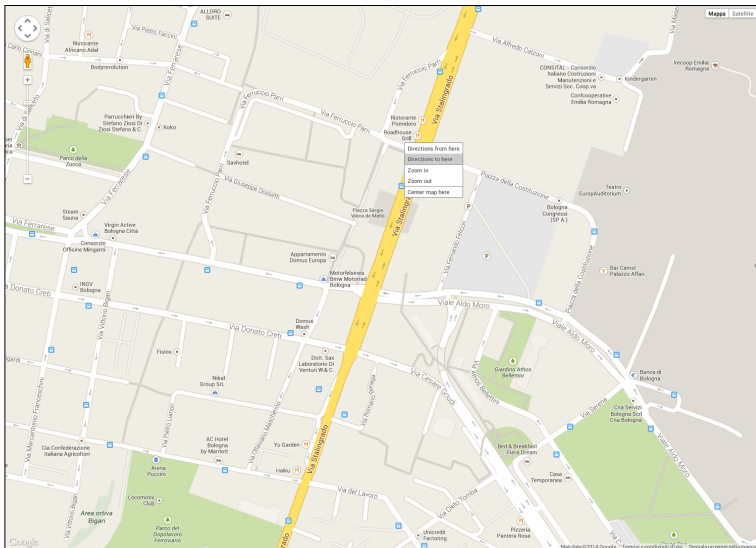
**Optimize:**  
Time  
Consumption

Planless

Find Route

**Distance radius (km):**  
10

Find Stations





# Front-end: risultati

## New Route

Consumption: 1.43 kWh (3.58 %)

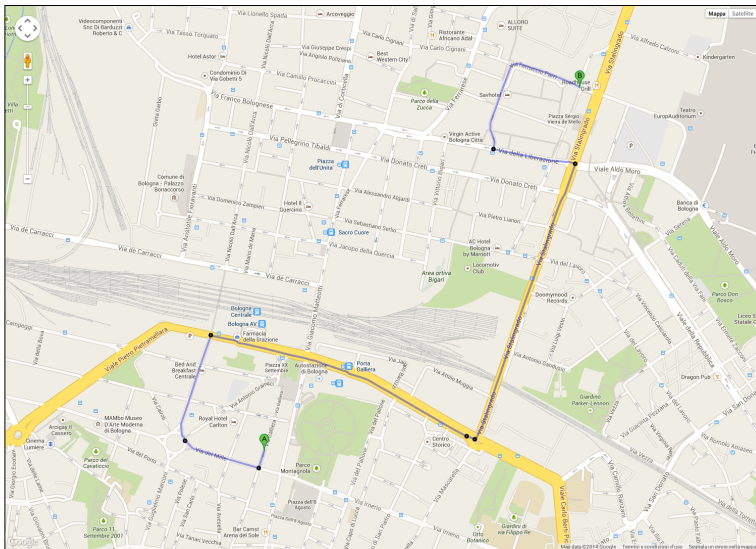
Recharge needed: 0.00 kWh (0.00 %)

Distance: 3 kilometers, 483 meters

Duration: 8 minutes, 30 seconds

## Instructions

- Head south on **Via Galliera** toward **Via dei Mille**
- Take the 1st **right** onto **Via dei Mille**
- At the roundabout, take the 1st **exit** onto **Via Giovanni Amendola**
- Turn **right** onto **Viale Pietro Pietramellara/SS9**  
Continue to follow SS9
- Slight **left** onto **Piazza di Porta Mascarella**
- Turn **left** onto **Via Stalingrado**
- Turn **left** onto **Via della Liberazione**
- Turn **right** onto **Via Ferruccio Parri**



# Front-end: risultati (con ricarica)

## New Route

Consumption: 1.50 kWh (3.75 %)

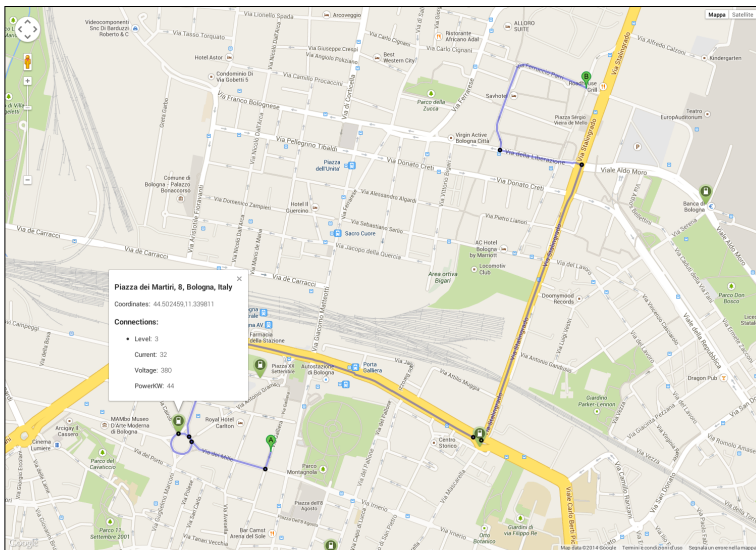
Recharge needed: 13.50 kWh (33.77 %)

Distance: 3 kilometers, 524 meters

Duration: 8 minutes, 58 seconds

## Instructions

- Head south on **Via Galliera** toward **Via dei Mille**
- Take the 1st right onto **Via dei Mille**
- Enter the roundabout
- Recharge to 51.16 % (21.26 kWh) at the station at **Piazza dei Martiri 1943 - 1945, 8, 40121 Bologna, Italy.**
- Head southwest toward **Via Cairoli**
- Exit the roundabout onto **Via Giovanni Amendola**
- Turn right onto **Viale Pietro Pietramellara/SS9**  
Continue to follow SS9
- Slight left onto **Piazza di Porta Mascarella**
- Turn left onto **Via Stalingrado**
- Turn left onto **Via della Liberazione**
- Turn right onto **Via Ferruccio Parri**



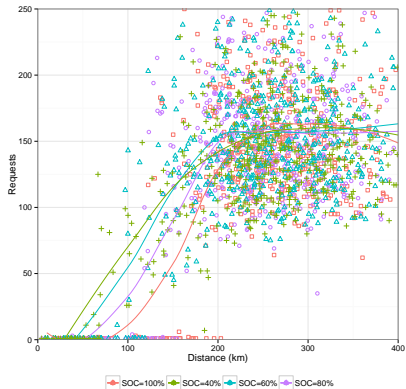
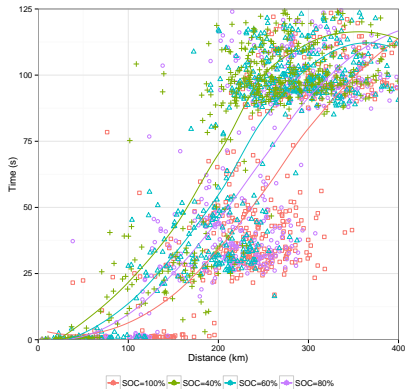
Valutazione del servizio mediante analisi di performance e tecniche di simulazione.

- ◆ **Scenario:** Emilia Romagna (coppie di punti generate casualmente).
- ◆ **SOC (%)**  $\in [40, 60, 80, 100]$ .
- ◆ **Threshold** (intermedia/di arrivo): 10%
- ◆ **Veicolo:** Daily Electric.

Due proprietà valutate:

- ◆ Performance (tempi di risposta del servizio).
- ◆ Efficacia.

# Performance: risultati



Tempo di risposta e numero di richieste alle Google Maps Directions API al variare della distanza percorsa.

Quota massima di richieste alle Google Maps API.

- ◆ Per secondo.

**Soluzione:** algoritmo di backoff esponenziale binario per richieste che superano la quota.

- ◆ Giornaliere (limite varia da versione Free a Business delle API).

**Soluzione:** limitare il numero di richieste.

Tecniche per ridurre il numero di richieste:

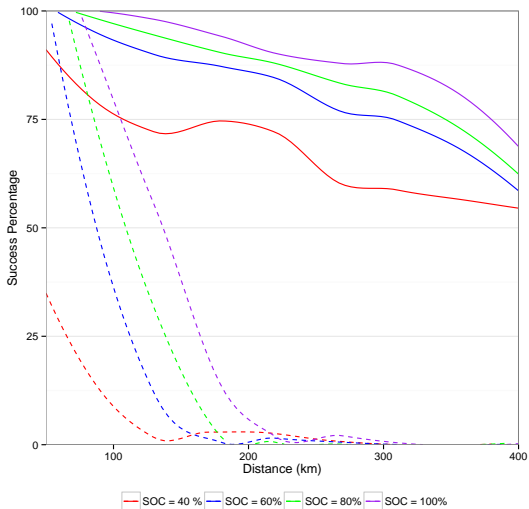
- ◆ Costruzione incrementale del grafo dei percorsi.
- ◆ Caching dei percorsi tra stazioni e dati altimetrici.

Date due configurazioni:

- ◆ *ON*: il guidatore di EV segue le istruzioni del servizio (percorso e fermate per ricarica).
- ◆ *OFF*: il guidatore di EV segue il percorso più breve (in termini di distanza) per raggiungere la destinazione (informazione fornita da un navigatore), alterando la sua rotta per ricaricarsi presso la stazione più vicina quando lo stato di carica scende sotto una certa soglia. Simulata, rappresenta il reale comportamento di un guidatore di EV.

Misurazione della percentuale di successo nell'arrivare a destinazione.

# Validazione: risultati



Percentuale di successo per configurazioni *OFF* (linea tratteggiata) e *ON*, con diversi valori di SOC iniziale.

- ◆ Includere ulteriori fattori nel calcolo del consumo (peso del carico, guida notturna, fenomeni meteorologici, ...).
- ◆ Considerare la durata della ricarica (ed eterogeneità degli EVSE) nel calcolo del tempo impiegato.
  - ◇ Planning più complesso.
  - ◇ Possibile integrazione con servizio di prenotazione delle ricariche.
- ◆ Eliminare la dipendenza da Google: utilizzo di *OpenStreetMap* e *MapQuest Open Platform Web Services*?
- ◆ Sviluppare applicazioni mobili come front-end per il servizio.