



Strumenti a supporto della diffusione della mobilità elettrica in città

Simulazione e valutazione della mobilità elettrica privata

I nuovi scenari della mobilità elettrica – Roma, 13 Dicembre 2018

Carlo Liberto / ENEA DTE-PCU-STMA – Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo



I PARTNER DELLA RICERCA

Nataschia Andrenacci

Fabio Carapellucci
Antonino Genovese
Maria Lelli
Carlo Liberto
Gabriella Messina
Silvia Orchi
Roberto Ragona
Francesco Spinelli
Gaetano Valenti



Andrea Gemma
Marina Ferrara
Marialisa Nigro



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Indaco Biazzo
Bruno Campanelli
Vittorio Loreto
Bernardo Monechi
Francesca Tria



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

Ilaria Baffo
Giuseppe Calabrò
Stefano Rossi
Stefano Ubertini

1

- **DATASET**

2

- **SIMULAZIONE DELLA MOBILITÀ ELETTRICA (eMU)**
 - generazione di pattern di mobilità urbana
 - simulazione di comportamenti di ricarica
 - interfaccia utente e visualizzazione output
 - modelli di scelta multi-modale

3

- **ANALISI DELL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA**
 - analisi di scenari per la rete di ricarica veloce
 - ottimizzazione numero, posizionamento e dimensionamento delle stazioni di ricarica

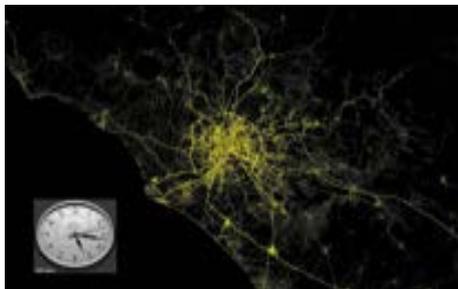
DIVERSE FONTI

dati censuari, zonizzazione, open-data TPL, costi aggiornati infrastrutture di ricarica e sistemi di accumulo, ecc.

DATI FCD OCTOTELEMATICS¹

elevato numero di terminali di bordo che forniscono diverse informazioni sul veicolo (es. posizione, velocità, direzione, ecc.) dal momento dell'accensione a quello dello spegnimento

- oltre **2 mln** di OBU in Italia
- frequenza: 30 s su rete TMC, 2 km altrove



1 giorno di tracce FCD a Roma



Flussi FCD
(Lun, 6AM->9AM)

1 MESE DI DATI

Tracce:	$158 \cdot 10^6$
Veicoli:	$151 \cdot 10^3$
Traiettorie:	$14 \cdot 10^6$
Percorrenze (km/veh):	$8 \cdot 10^2$



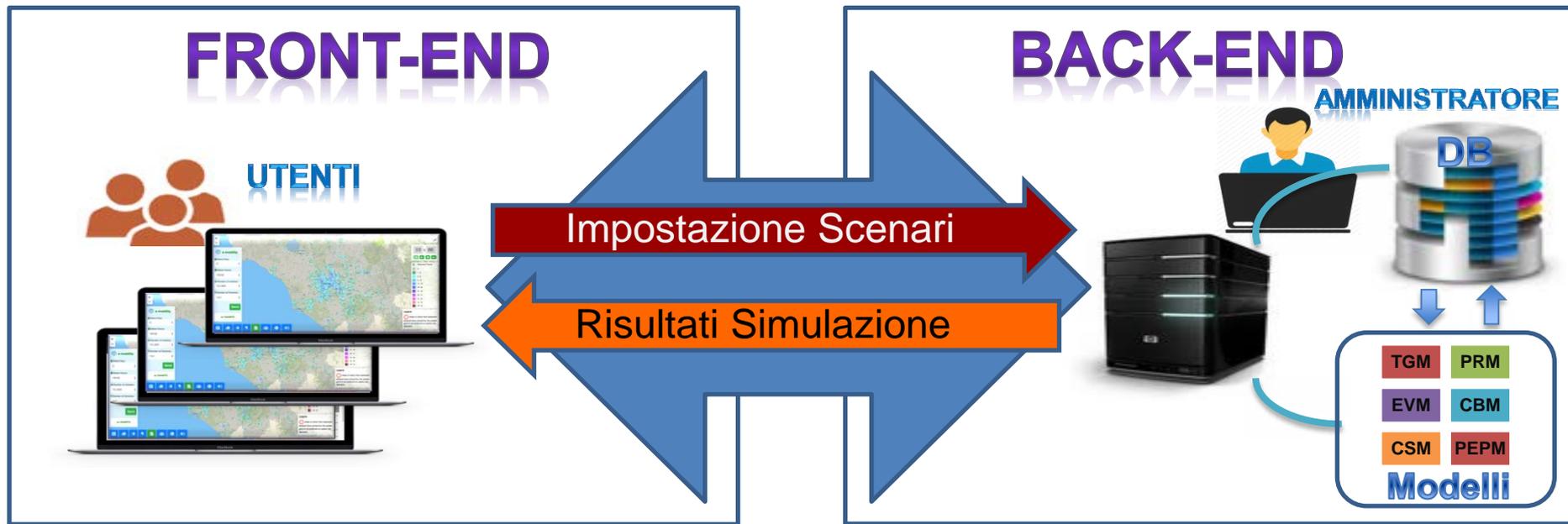
~ 5% penetrazione

¹ <http://www.octotelematics.com>

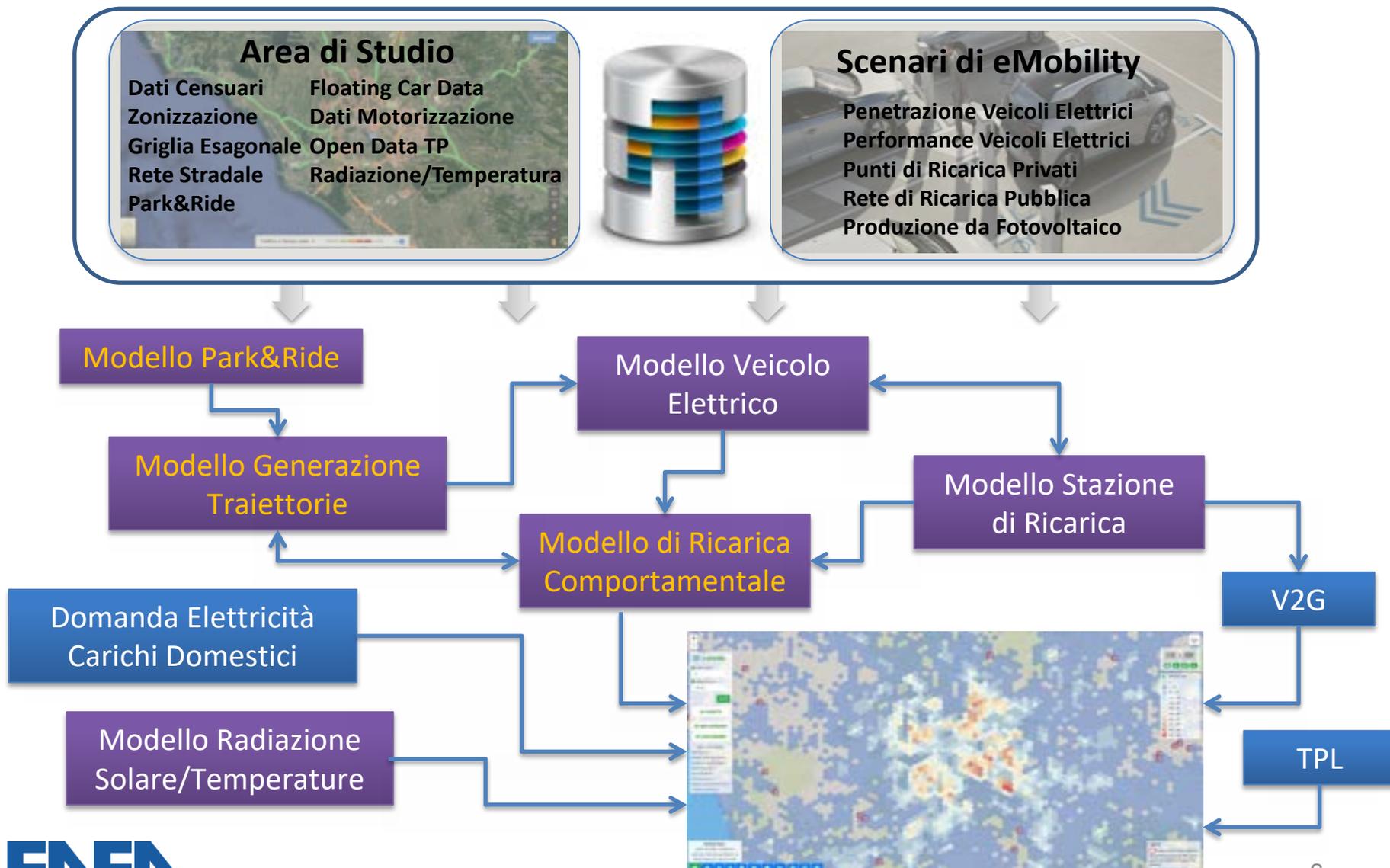


SIMULAZIONE MICROSCOPICA PER ANALISI DI SCENARI LEGATI ALLA DIFFUSIONE DI VEICOLI ELETTRICI IN CONTESTI URBANI E METROPOLITANI

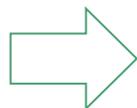
- ausilio a pianificazione/progettazione di interventi infrastrutturali e tecnologici per una transizione efficiente verso la mobilità elettrica



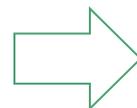
eMU – SCHEMA MODELLISTICO



GENERATORE
DI TRAIETTORIE
SINTENTICHE



NoSQL
DB



SIMULATORE DEI
COMPORAMENTI
DI RICARICA

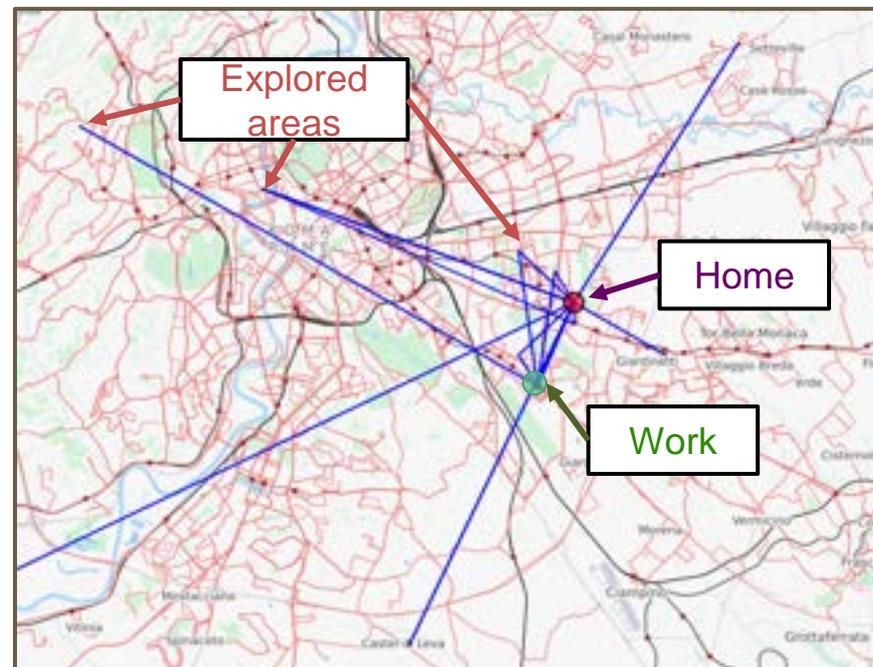
BASATO SU:

modelli di “Innovation Dynamics” [1] con lo scopo di riprodurre **pattern statistici** di mobilità urbana

-> «oversampling» dati FCD

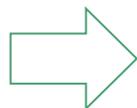
CALIBRATO SU:

- ✧ flussi tra aree
- ✧ dispersione delle traiettorie
- ✧ “rate” di esplorazione

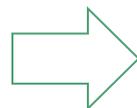


[1] Loreto V. et al., "Dynamics on expanding spaces: modeling the emergence of novelties", *Creativity and universality in language*, Springer, Cham, 2016, 59-83.

GENERATORE
DI TRAIETTORIE
SINTENTICHE



NoSQL
DB



SIMULATORE DEI
COMPORTAMENTI
DI RICARICA

MODELLO PER SIMULAZIONE DI COMPORTAMENTI DI RICARICA SEMPLICI SU TRAIETTORIE SINTETICHE

- comportamenti a “soglia”: ricarica se “poca batteria”, ricarica se sosta “lunga”, ecc.)

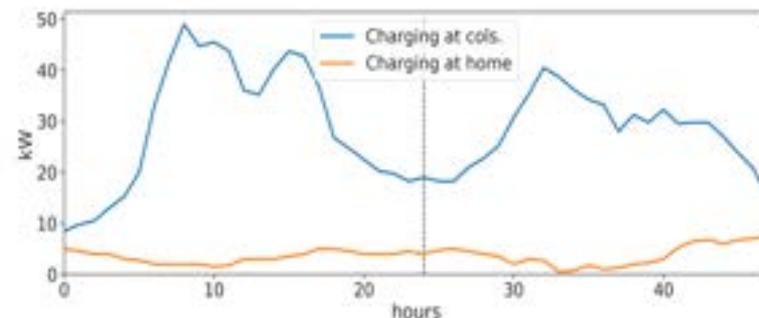
Input:

- numero Traiettorie sintetiche generate
- numero Colonnine di ricarica
- distribuzione parco auto elettrificato
- presenza comportamento “Park’n’Ride”

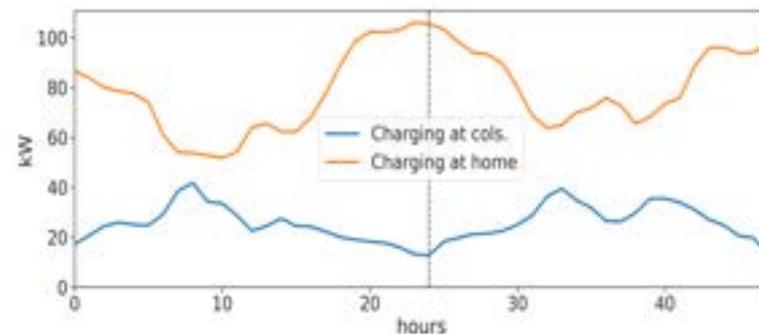
Output:

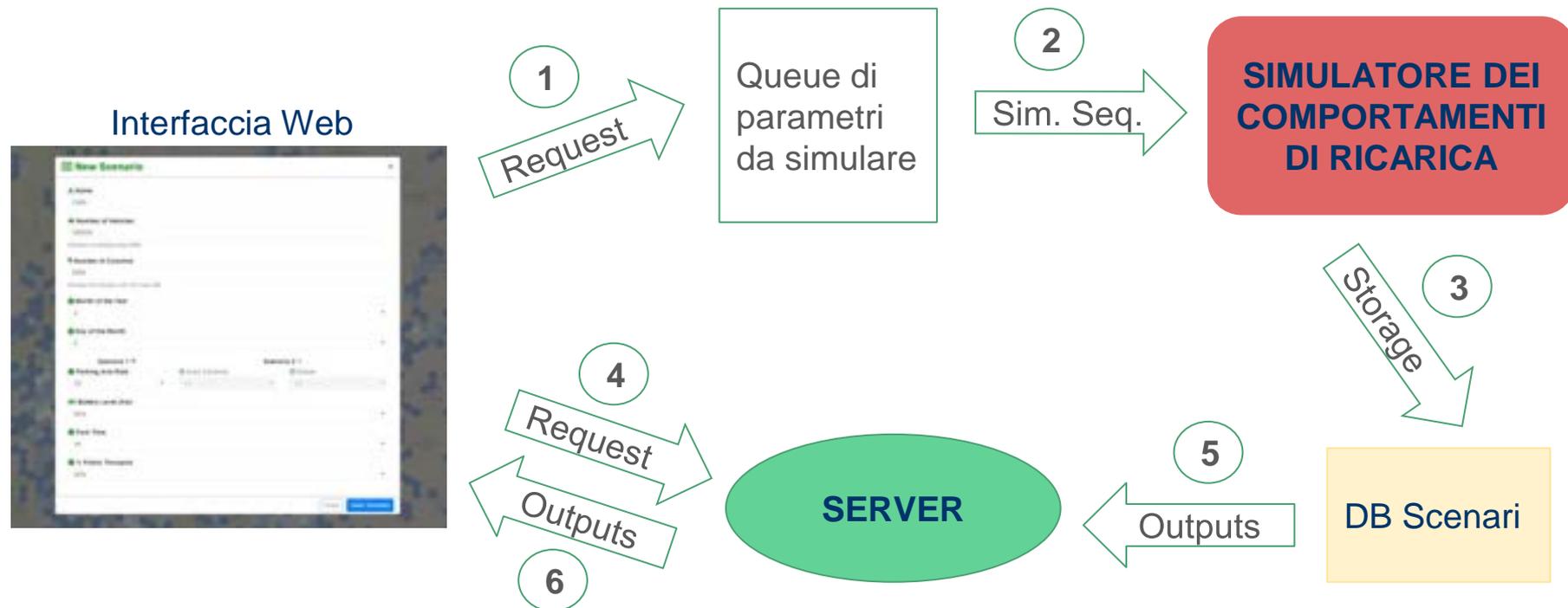
- serie temporali consumi (ricarica domestica/colonnine)
- ricariche mancate
- traiettorie incapaci di portare a termine la dinamica

Area con prevalenza di ricarica su colonnine



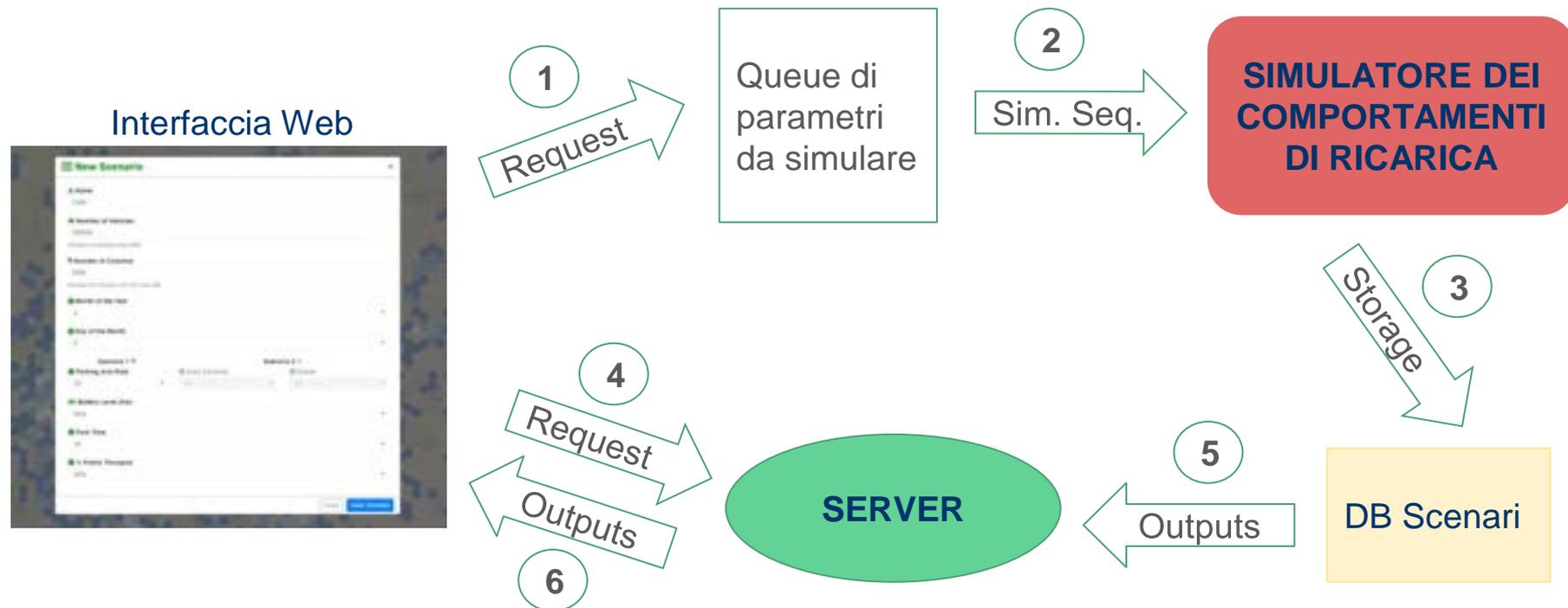
Area con prevalenza di ricarica domestica



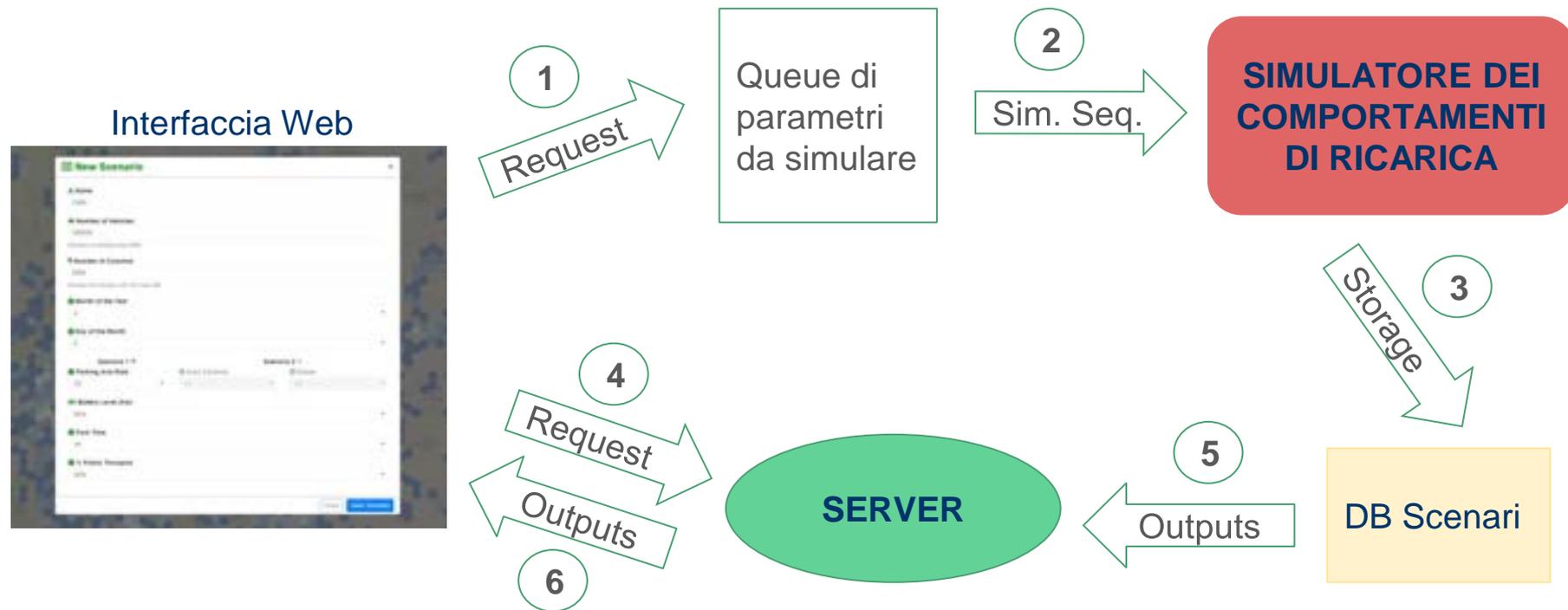


La piattaforma consente:

- interazione tra utente e modello di comportamento di ricarica (interfaccia grafica)
- storage degli scenari creati
- visualizzazione degli outputs



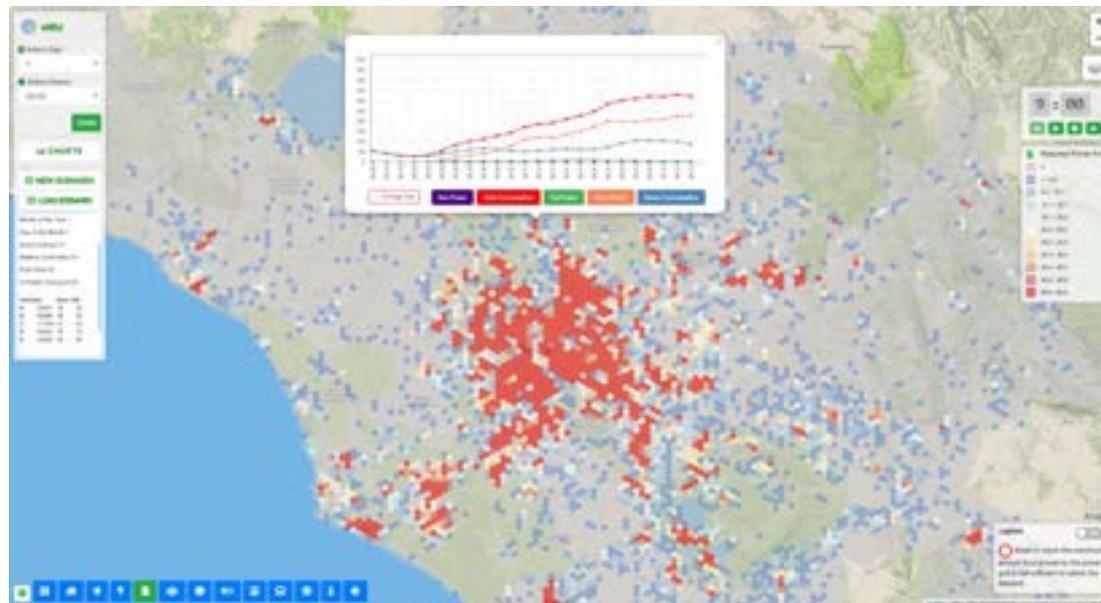
- L'utente richiede l'elaborazione di un nuovo scenario (1) che viene inserito in queue
- La queue esegue le richieste in maniera sequenziale (2)
- Gli output degli scenari sono salvati in un DB (3)



- Può essere anche richiesta la visualizzazione di uno scenario già elaborato **4**
- La richiesta viene inviata al server che interroga il DB **5** e poi fornisce gli output al sistema di visualizzazione **6**

Visualizzazione globale su mappa

- ✓ n. auto in sosta 
- ✓ n. auto in ricarica presso abitazione 
- ✓ n. auto in ricarica su stazioni pubbliche 
- ✓ n. auto in Park&Ride 
- ✓ n. stazioni presenti 
- ✓ consumo elettrico da stazione pubbliche 
- ✓ consumo elettrico presso abitazioni 
- ✓ consumo elettrico da TP elettrificato 
- ✓ consumo elettrico totale 
- ✓ distribuzione della popolazione 
- ✓ n. ricariche "mancate" 
- ✓ energia disponibile da V2G 
- ✓ temperatura 
- ✓ radiazione Solare 



Visualizzazione su singola zona (cella)

- ✓ serie temporali consumi presso abitazione, stazioni pubbliche, TP elettrificato, totali

Sintesi giornaliera consumi

Simulatore disponibile online al sito:

<http://93.147.158.9/electric/?env=dev>

OBIETTIVI

1

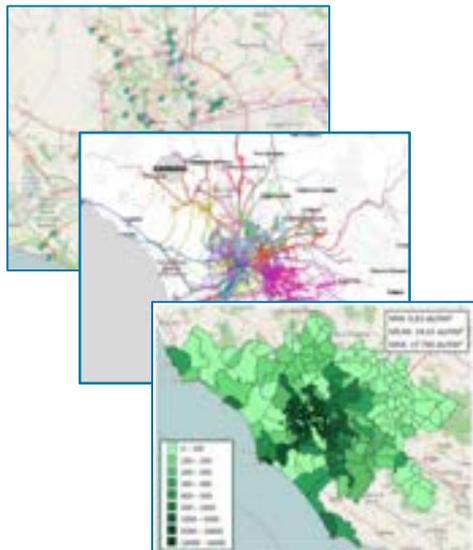
- Specificazione, calibrazione e test di un modello di simulazione atto a rappresentare **comportamenti di scelta multimodali** da parte dei veicoli elettrici

2

- Implementazione del modello all'interno di eMU e **valutazione di scenari**

3

- Valutazione di politiche di **incentivazione alla sosta**



METODOLOGIA

Ricostruzione offerta di sosta -> Open Data

Ricostruzione domanda di mobilità e domanda di sosta -> FCD

Analisi dell'interazione tra domanda e offerta di sosta

Individuazione delle variabili indipendenti del modello

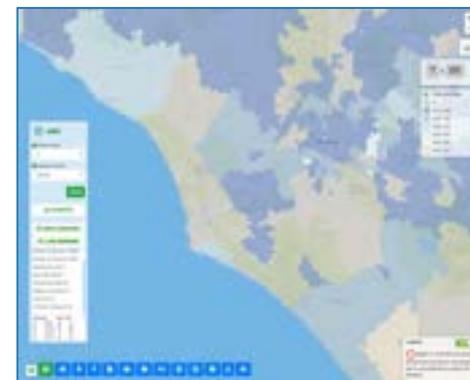
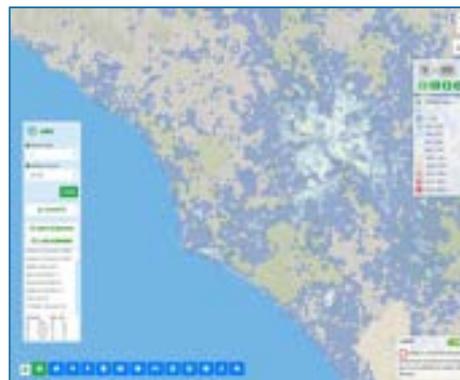
Calibrazione e validazione del modello -> *Random Forest*

RICERCA

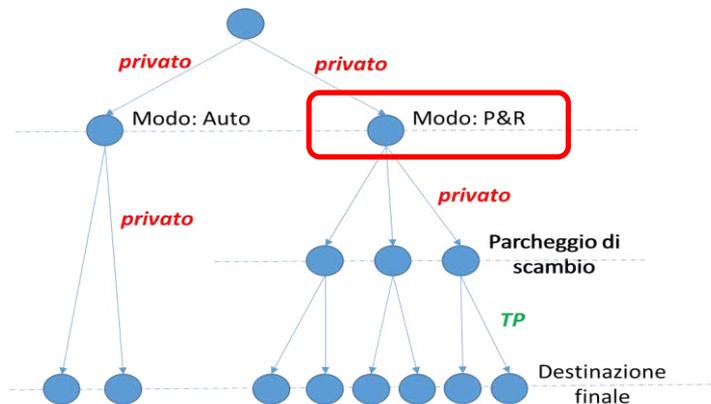
1. Utilizzo di tecniche avanzate di **Machine Learning (*Random Forest*)** per la previsione della domanda di Park&Ride
2. Calibrazione e validazione di un modello in grado di stimare le variazioni di domanda che adotta un **comportamento multimodale** (veicolo privato elettrico-trasporto collettivo) al variare:
 - del livello di servizio fornito dall'offerta di trasporto
 - dell'interazione tra domanda di sosta ed offerta stessa
 - delle caratteristiche territoriali ed insediative dell'area di studio
3. Valutazione dell'incremento di domanda a seguito di incentivi economici in scenari Vehicle-to-Grid

SVILUPPO

Implementazione del modello multimodale all'interno di eMU per la rappresentazione e verifica di scenari di mobilità elettrica.



STIMA DELLA QUOTA DI DOMANDA DI VEICOLI ELETTRICI CHE EFFETTUANO P&R:



$$(G_O^{\text{Park}} / G_O) |_{Dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

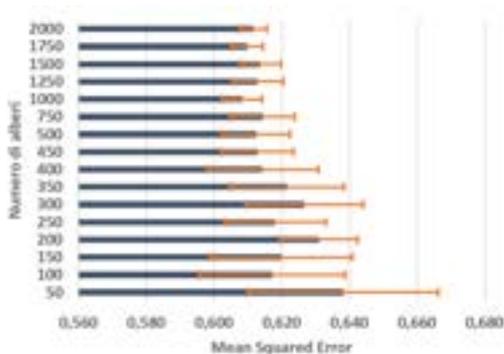
MAPE = 29%
R² = 0.91

Tipologia di variabili indipendenti

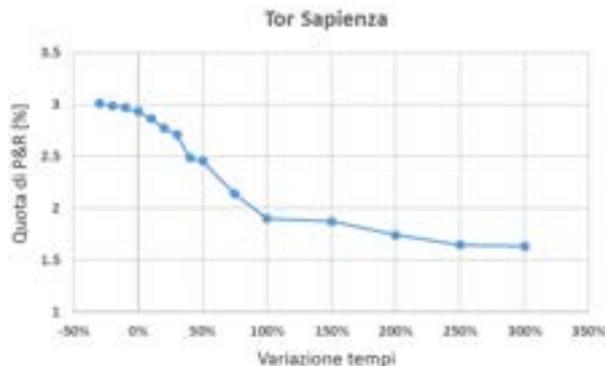
- possono essere funzione della **zona di origine** dello spostamento (posizione origine, densità abitativa, ecc.), dell'**intervallo temporale** o di entrambi (impedenze su rete di trasporto, riempimento parcheggi, ecc.)

ANALISI DI SENSITIVITÀ (parametri RF, variabili modello -> pesi variabili)

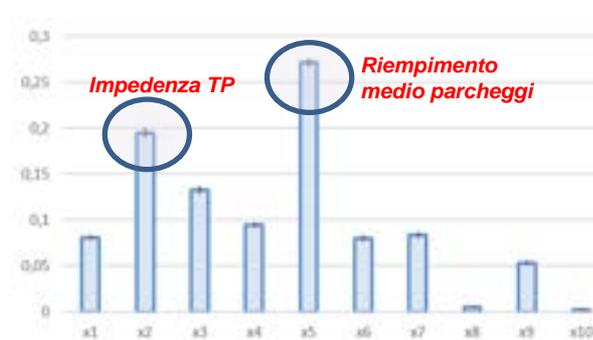
Sensitività per numero di alberi della RF



Variazione tempo origine-parcheggio su privato



Pesi variabili indipendenti



INCENTIVI: SCHEMI DI V2G PRESSO I PARCHEGGI DI SCAMBIO

- Rimborso sulla bolletta elettrica
- Analogia con scambio sul posto

Ipotesi di ricarica notturna presso abitazione



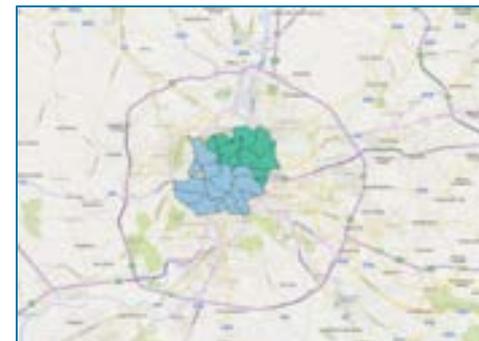
- Distanza media di accesso/egresso parcheggi = 10 km (Roma)
- Prezzo unitario energia = valore per energia prodotta da fotovoltaico

Rimborso annuale sulla bolletta elettrica = 500 €

INTEGRAZIONE IN eMU E SIMULAZIONE SCENARI

Scenario 1: limitazione ingressi in “aree sensibili” della città -> politica di tipo PUSH

Scenario 2: incentivazione e miglioramento della rete del trasporto collettivo al fine di incrementarne l’utilizzo dei servizi in termini di P&R -> politica di tipo PULL



più efficace per interventi atti a favorire la multi modalità

Carlo Liberto
carlo.liberto@enea.it



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



Strumenti a supporto della diffusione della mobilità elettrica in città

Analisi di scenario ed ottimizzazione della rete di
ricarica veloce per mobilità elettrica privata

I nuovi scenari della mobilità elettrica – Roma, 13 Dicembre 2018

Natascia Andrenacci / ENEA DTE-PCU-STMA – Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo



ANALISI DI SCENARI PER L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

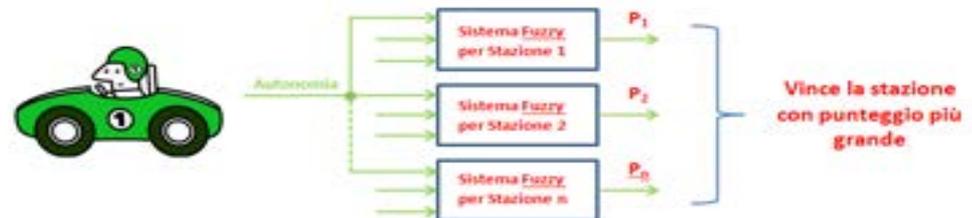
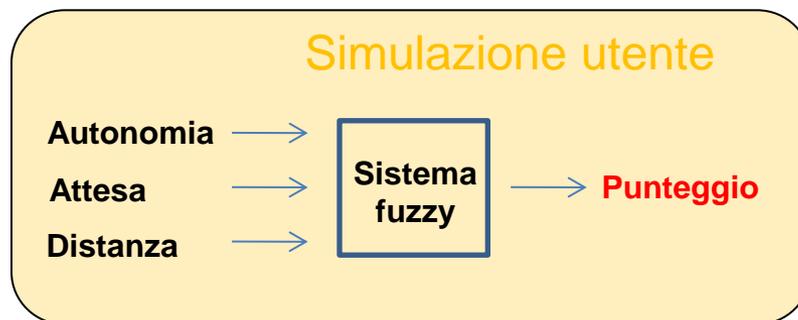
ANALISI DI SCENARI PER LE INFRASTRUTTURE DI RICARICA VELOCE

OBIETTIVI:

1. Determinazione **taglia energetica istantanea** di ogni stazione a partire da:
 - scenari di mobilità elettrica in una specifica zona urbana
 - profili di ricarica reali per un'auto elettrica di media fascia
2. Valutazione della **convenienza economica** di una stazione dotata di sistema di accumulo stazionario *al litio* rispetto ad una stazione rifornita dalla sola rete elettrica

TARGET: progettazione della struttura di ricarica dal punto di vista del potenziale investitore

SIMULAZIONE: comportamento dei potenziali utenti simulato da un sistema a logica Fuzzy



ANALISI DI SCENARI PER L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

AREA DI STUDIO:

Roma – Quartiere EUR (5,67 km²)

- Dati FCD OctoTelematics per caratterizzazione spostamenti/soste

3 STAZIONI DI RICARICA VELOCE (in rosso)

- Stato di Carica (SOC) finale ~ 80%
- Potenze > 22 kW
- Durata ricarica <= 1h

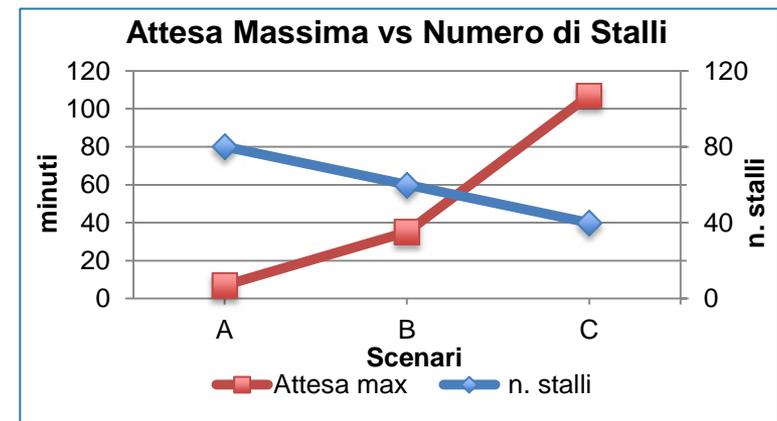


3 POSSIBILI SCENARI

SCEN.	STZ. 1 (n. stalli)	STZ. 2 (n. stalli)	STZ. 3 (n. stalli)
A	20	30	30
B	20	30	10
C	10	10	20

QUAL È IL LIVELLO DI SERVIZIO?

Il livello di servizio per un dato scenario è collegato al tempo di attesa massimo per essere serviti che dipende da diversi parametri, quali ad esempio, il **numero di stalli**

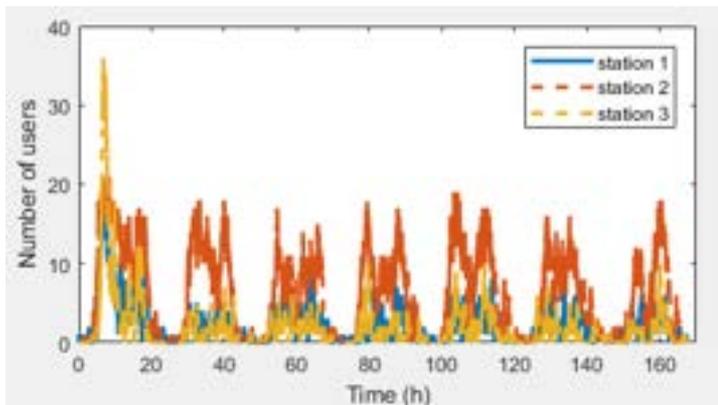


ANALISI DI SCENARI PER L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

Definizione di un **profilo di ricarica tipico** (vettura tipo del segmento medio)

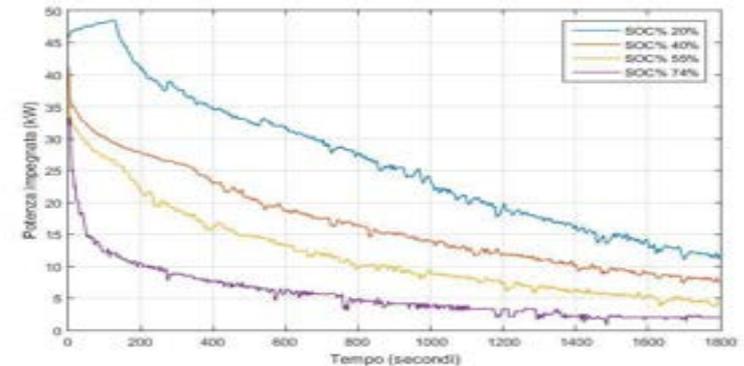
- varia in funzione del SOC al momento della ricarica
- interpolazione di dati sperimentali da campagna di misure ENEA

Numero di utenti assegnati alle stazioni

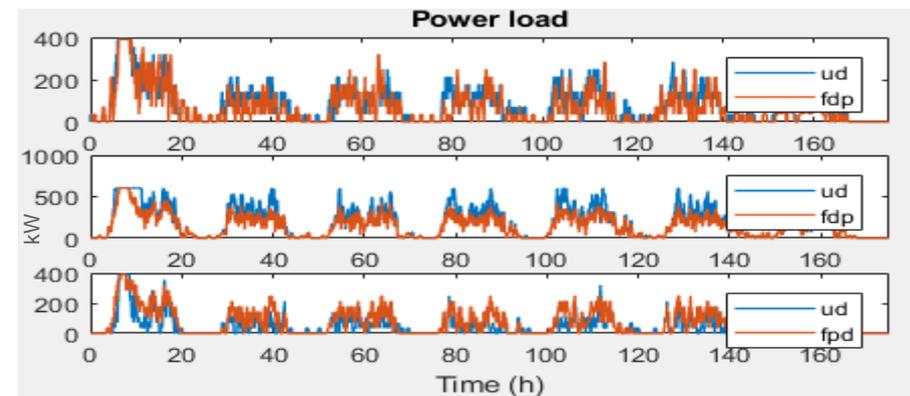


È possibile calcolare l'**affollamento** alle stazioni in funzione del tempo sulla base dei dati a disposizione.

Profilo di ricarica veloce in funzione del SOC iniziale

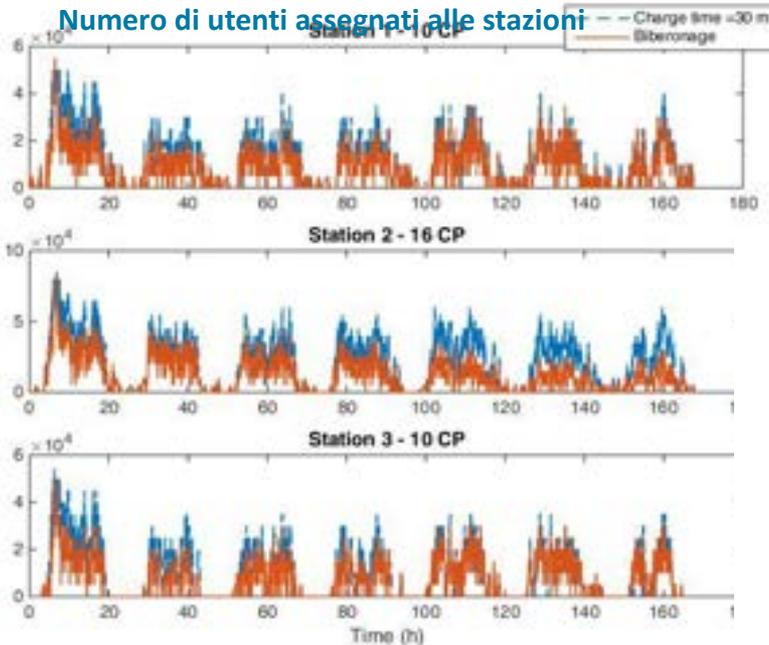


Profili di impegno elettrico delle stazioni



Dall'affollamento in funzione del tempo e dal SOC delle auto in ricarica si può determinare la **richiesta istantanea di potenza**

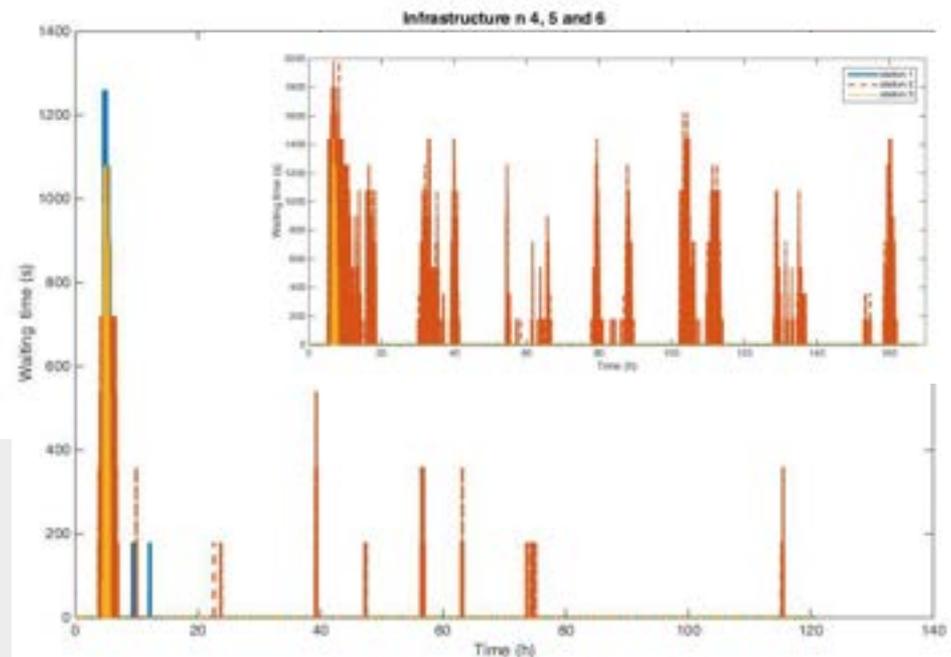
ANALISI DI SCENARI PER L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA



Ad esempio, è possibile valutare gli effetti di ricariche di biberonaggio piuttosto che a tempi fissati

L'analisi di sensitività permette di valutare il peso dei diversi parametri dello scenario con simulazioni *what-if*

...O le ripercussioni delle scelte dei siti su cui installare le colonnine



ANALISI DI SCENARI PER L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

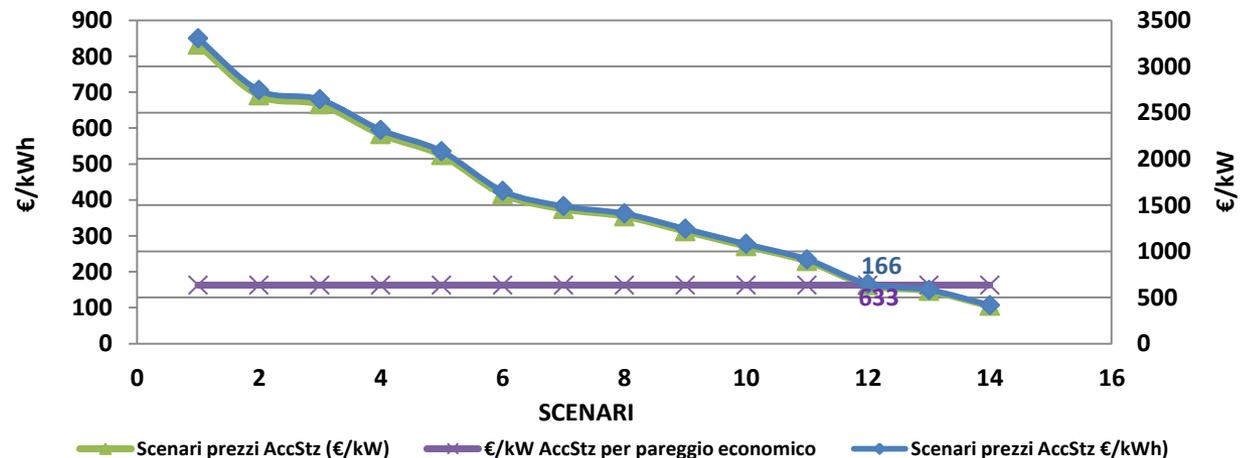
VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA DI UN SISTEMA DI ACCUMULO STAZIONARIO

-> livellare i picchi di richiesta di potenza di una stazione di ricarica

Un sistema di accumulo stazionario a batterie litio-ione, nuove o in second-life, è conveniente solo se il prezzo del sistema di accumulo **finito** è uguale o inferiore a **166 €/kWh**

	€/kW	€/kWh	\$/kWh
Scen_1	3'238	850	1'000
Scen_2	2'688	706	830
Scen_3	2'590	680	800
Scen_4	2'267	595	700
Scen_5	2'040	536	630
Scen_6	1'619	425	500
Scen_7	1'457	383	450
Scen_8	1'379	362	426
Scen_9	1'218	320	376
Scen_10	1'056	277	326
Scen_11	894	235	276
Scen_12	633	166	196
Scen_13	570	150	176
Scen_14	408	107	126

Valore di indifferenza per investimento rispetto ad uno scenario senza accumulo stazionario (sistemi di ricarica rapida di tipo pubblico/semipubblico)



OTTIMIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

SVILUPPO DI UNO STRUMENTO DI SUPPORTO PER IL DIMENSIONAMENTO DI UNA RETE DI INFRASTRUTTURA DI RICARICA

-> ottimizzazione economica del servizio di ricarica

PROBLEMA: scelta *ottimale* del numero, posizionamento e dimensionamento delle stazioni di una infrastruttura di ricarica

- ✧ **livello di servizio** (n. utenti serviti, distanza punto di ricarica/punto di sosta)
- ✧ **sostenibilità economica** da parte del gestore della rete di ricarica

OTTIMIZZAZIONE EURISTICA: selezione di un n. sostenibile di siti dal punto di vista dell'investitore

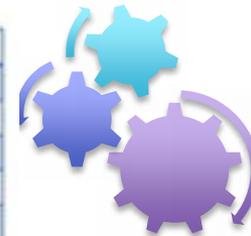
-> minimizzando il numero di risorse impiegate

-> massimizzando il livello di servizio

Ipotesi.

- Si assume il punto di vista del designer/investitore privato
- Ipotesi di monopolio dell'investitore
- Si considerano solo ricariche veloci della durata di 30 minuti
- La carica residua di ogni utente è sufficiente a raggiungere la stazione di ricarica più vicina
- Il livello di servizio della rete è determinato in base allo scostamento tra il desiderio del cliente e la decisione del designer delle rete in termini di distanza e di istante temporale in cui viene erogato il servizio.

	U.M.	Anno 1
Prezzo servizio	€/ricarica	10
Giorni servizio	giorni/anno	320
Costo energia	€/kWh	0,22
Ricarica completa	kWh	40
Costo investimento (stz. tripla presa)	€/stazione	23.000,00
Costo allaccio rete	€/stazione	3.500,00
Costo di installazione	€/stazione	1.500,00
Totale investimento	€/stazione	28.000,00
Interessi passivi (5% in 5 anni)	€	3.000,00
Totale investimento	€/stazione	31.000,00
Costo gestione infrastruttura	€/stazione	500
Tassazione	€	1/3 MOL



OTTIMIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA



PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE



OTTIMIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

SINTESI E CONCLUSIONI:

- Le analisi economiche sono state effettuate su un orizzonte temporale di **5 anni**
- Le ipotesi poste al problema sono tutte rispondenti a dati reali eccetto il parco circolante dei veicoli elettrici assunto dell'ordine del **5%**
- La **domanda di servizio** di ricarica è stata ricostruita individuando nelle soste i punti di domanda da dover servire
- Per l'**offerta di servizio** di ricarica sono stati individuati inizialmente 32 potenziali siti per apertura di stazioni di ricarica (aree di sosta, parcheggi e grandi stazioni di servizio)



FCD OCTOTELEMATICS

- ✧ AREA DI STUDIO: Roma, quartiere EUR (superficie: 5,67 km, abitanti: 9.554)
- ✧ PERIODO DI ANALISI: 1 settimana
- ✧ NUMERO SOSTE: 3071

Sulla tali basi i progetti di investimento risultano remunerativi in un periodo medio-breve.

Natascia Andrenacci

Natascia.andrenacci@enea.it



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Strumenti a supporto della diffusione della mobilità elettrica in città

Software di supporto alle decisioni destinato alle
Aziende del Trasporto Pubblico urbano su gomma

I nuovi scenari della mobilità elettrica, Roma 13 Dicembre 2018

Valentina Conti / ENEA DTE-PCU-STMA – Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo



I PARTNER DELLA RICERCA



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Massimo Celino, Valentina Conti
Silvio Migliori, Maria Luisa Mongelli
Silvia Orchi, Maria Pia Valentini



Università di Roma TRE
Dipartimento Ingegneria
Prof. Dario Pacciarelli
Andrea Gemma



Università di Tor Vergata
Dipartimento Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica
Prof. Giuseppe Italiano
Giuseppe Chiapparo

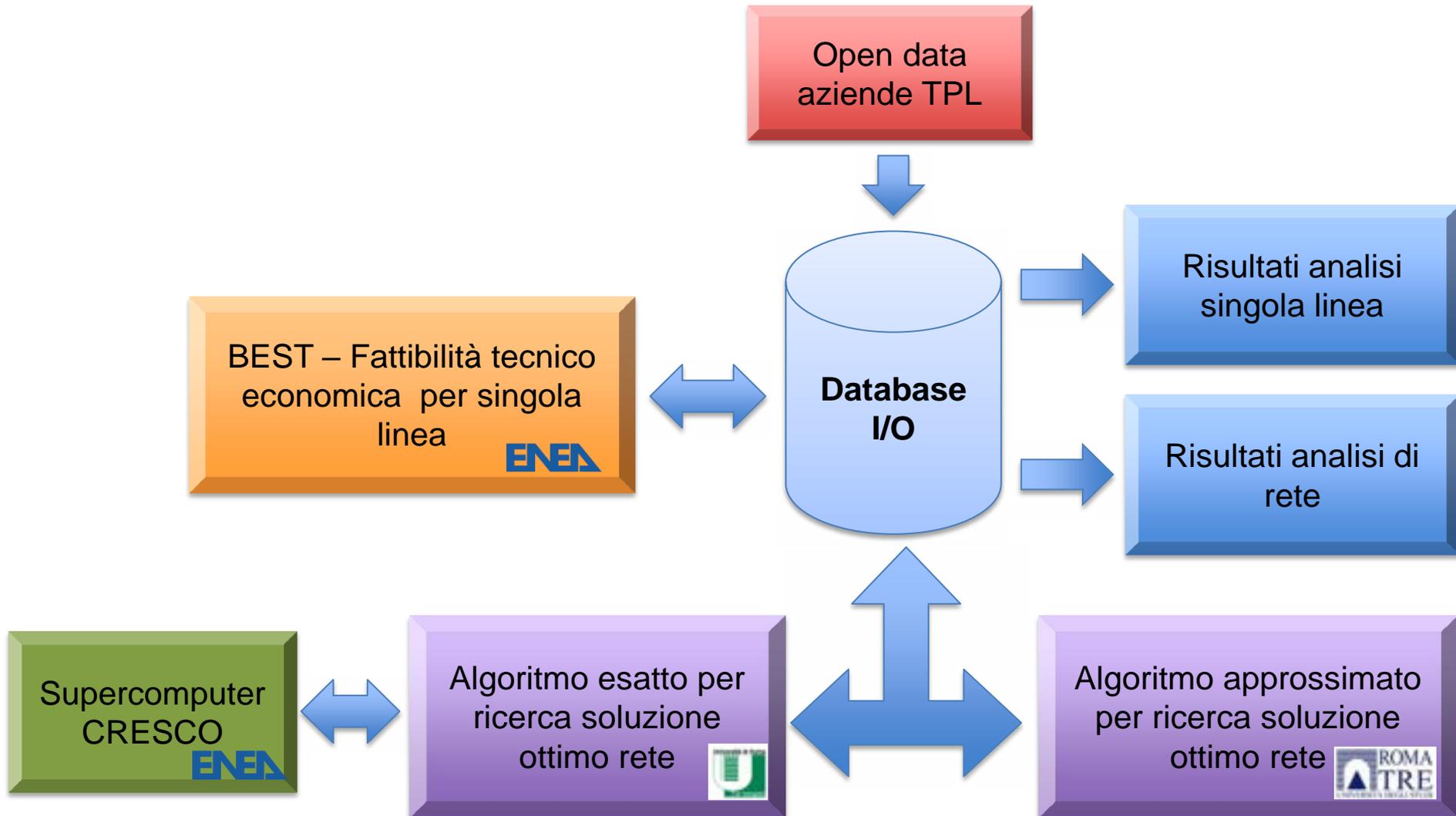


Università dell'Aquila
Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia
Prof. Carlo Villante
Prof. Michele Anatone

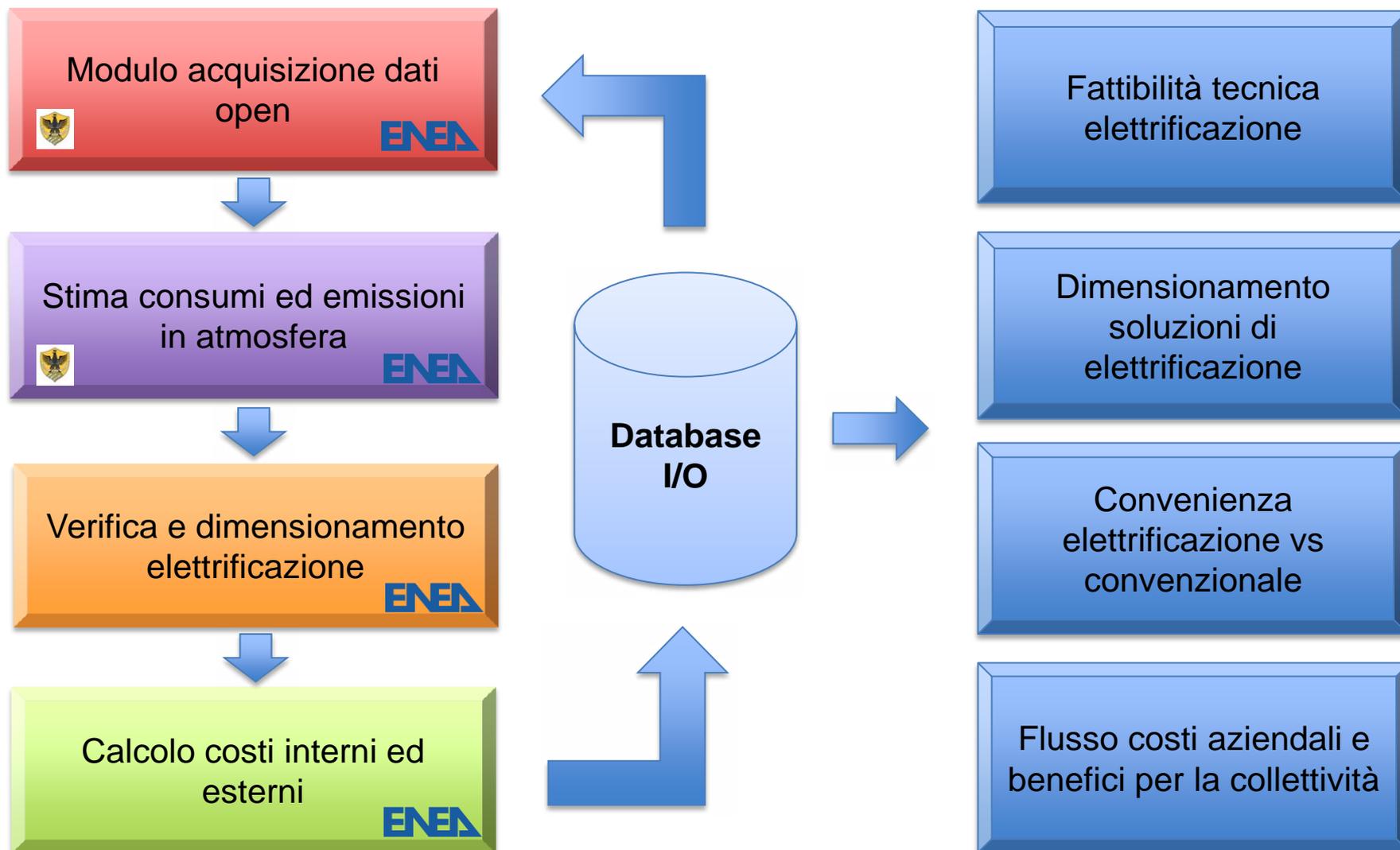
La piattaforma OneBus intende supportare le **Aziende di trasporto pubblico locale** nel:

- ❑ individuare le **linee tecnicamente elettrificabili** e dimensionare preliminarmente le diverse soluzioni di ricarica:
 - Arch. A: ricarica lenta al deposito (batterie al litio);
 - Arch. B: anche biberonage veloce al capolinea (batterie al litio);
 - Arch. C: anche ricarica ultrarapida alle fermate (supercap)
- ❑ stimare il **vantaggio/svantaggio economico**, in termini sia di costi interni sia di costi esterni, rispetto alle alternative convenzionali:
 - Gasolio, diesel e ibrido (HEV)
 - Metano compresso
- ❑ individuare una **rete economicamente vantaggiosa** dato un budget di investimento iniziale destinato all'elettrificazione delle linee del TPL tenendo in considerazione i costi degli autobus, degli accumuli e degli impianti

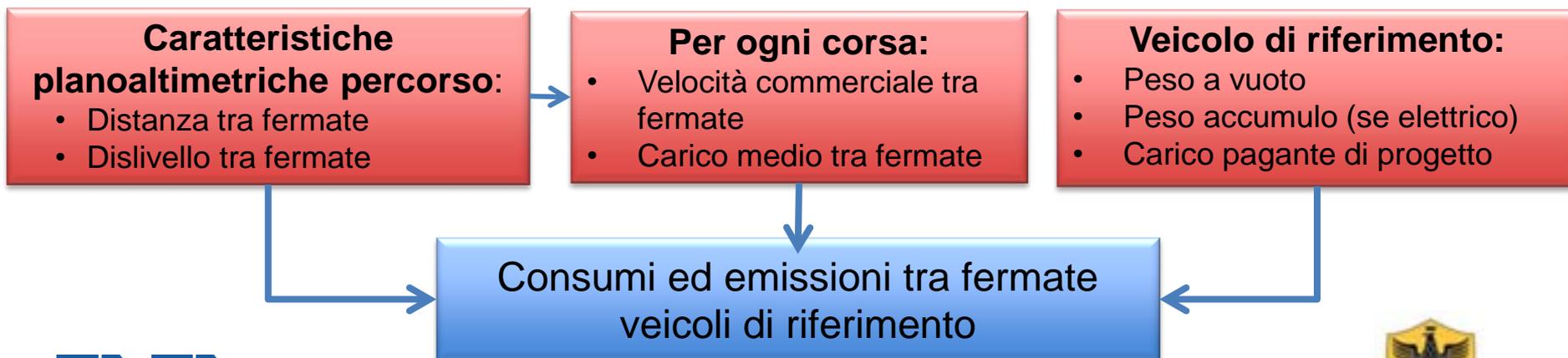
Architettura funzionale ONEBUS



Architettura BEST (Better Electric Solutions for public Transport)



1. Basato su **fattori di consumo** (ed emissione) in funzione della velocità commerciale da nodo a nodo
2. Curve ricavate dal **Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università dell'Aquila** attraverso la simulazione del comportamento energetico ed emissivo dei **veicoli standard del modello**, su profili di missione reali di diversa estrazione
3. Validazione sui fattori di consumo **COPERT** relativi ai veicoli diesel e su dati di misura su ibridi, metano ed elettrici in fase di completamento



Il caso di studio: la rete di Roma

Open Data:

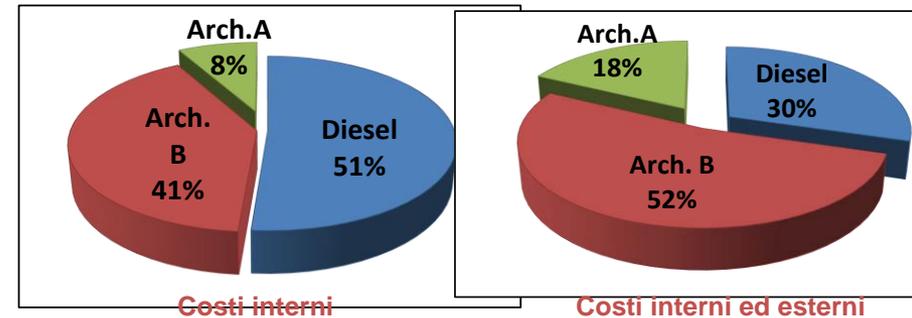
283 linee diurne di cui 59 circolari

Ipotesi:

- Analisi su 12 anni, tasso di sconto 5%
- Rinnovo con bus 12 m
- Load Factor medio 30%



Linee convenienti da elettrificare



- La soluzione di tipo B, con ricarica al capolinea, è la più competitiva ed inoltre garantisce la stessa capacità di trasporto dei veicoli convenzionali
- La soluzione di tipo A è competitiva solo se viene tailorizzata sulle esigenze specifiche della linea. Ma in alcuni non risulta fattibile per limiti di autonomia e comunque riduce le capacità di trasporto rispetto al diesel
- La soluzione di tipo C esaminata non risulta attualmente competitiva a causa degli elevati costi delle infrastrutture di ricarica

Dato un budget per il rinnovo della flotta in elettrico e per la realizzazione delle relative infrastrutture di ricarica, l'obiettivo degli algoritmi è la massimizzazione dei benefici dell'investimento

Algoritmo esatto

- Trovare la configurazione di rete migliore
- Usati fino a 512 CPU / 2048 core e decine di ore di calcolo (CRESCO4)
- Branch-and-Bound parallelo con tecnologia job-array



Algoritmo approssimato

- Trovare una configurazione «buona» in tempi ragionevoli ma non necessariamente la migliore
- Normale workstation con 2 CPU / 8 core e minuti di calcolo
- Knapsack / Algoritmo Genetico



- Il confronto dei risultati dei due algoritmi ha avuto lo scopo di verificare quanto l'algoritmo approssimato fosse efficace nella risoluzione del problema
- L'algoritmo approssimato ha trovato la soluzione ottima nella quasi totalità delle istanze analizzate
- L'istanza più grande confrontata è caratterizzata da 34 linee, 50 capolinea e un investimento di 10M€. La soluzione migliore trovata da entrambi gli algoritmi è composta da 4 linee elettrificate con soluzioni di tipo B.

Ipotizzando un investimento di 50 M€ per il rinnovo della flotta in elettrico e per le relative infrastrutture di ricarica a Roma, l'algoritmo approssimato:

- Seleziona 16 linee con ricarica al capolinea di tipo B.
- Stima 8.8 M€ di benefici economici per l'operatore in 12 anni rispetto al diesel EURO6
- L'algoritmo seleziona sottoreti di tipo B perché offrono risparmi maggiori anche se l'economia di scala ai nodi è poco significativa.
- Maggiori economie di scala si ottengono con l'aggregazione di linee di tipo C, che però non vengono selezionate a causa dei loro elevati costi iniziali.





Valentina Conti

