



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

# PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE



## Ricerca e Innovazione ENEA per la mobilità sostenibile

Nel settore dei trasporti, l'innovazione tecnologica può dare un contributo rilevante per migliorare prestazioni, consumi, versatilità, ecosostenibilità, efficienza e ridurre l'impatto ambientale anche in termini di emissioni inquinanti.

Sul fronte della mobilità sostenibile, ENEA è impegnata con soluzioni e progetti applicabili a diverse modalità di trasporto, individuale, pubblico locale, merci e all'infomobilità, descritte in questa pubblicazione.

Alcune delle principali attività riguardano la motorizzazione elettrica ed ibrido-elettrica, gli accumuli, la sicurezza, la localizzazione delle colonnine e tecnologie per la ricarica rapida, anche wireless.

Nei laboratori ENEA vengono anche progettati sistemi, (hardware e software) e componenti (batterie e powertrain, ad esempio) per mezzi di trasporto pubblico a basso emissioni, come Mhybus, il primo autobus italiano a miscela metano-idrogeno e Smartbus per il trasporto a chiamata di autobus elettrici, ed infine strumenti a supporto delle amministrazioni per delineare le policy di mobilità sostenibile e di prevenzione dell'inquinamento atmosferico.

Ampio spazio, quindi, anche alle applicazioni ICT con software innovativi che consentono di valutare gli impatti economici-energetico-ambientali degli spostamenti casa-lavoro, di rilevare posizione e velocità di flotte di veicoli o di stimarne consumi ed emissioni o di ottimizzare la gestione delle merci.

Punto di riferimento della ricerca ENEA in questo settore è il Dipartimento Tecnologie energetiche con le Divisioni Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia, Smart Energy e Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT che dispongono di infrastrutture avanzate ad alta specializzazione quali il Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo che dispone anche di un laboratorio prove batterie e il Laboratorio Sviluppo Processi Chimici e Termofluidodinamici per l'Energia.



## PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE

### TRASPORTO INDIVIDUALE

- HIZEV
- MICROVETTURE - Sviluppo di prototipi di micro vetture a trazione elettrico-ibrida
- HOWMOVE - Home-work Mobility Evaluation Tool Suite - Software per ottimizzare costi e impatti degli spostamenti casa-lavoro
- PRIMO - PRivate Mobility Observatory - Il Tool per analizzare la mobilità privata
- ECOTRIP© - Software per la stima dei consumi e delle emissioni dei veicoli
- Collocazione ottimale delle stazioni di ricarica elettrica
- Prove di sicurezza delle batterie

### TRASPORTO MERCI

- CITYLOG© - Il software che ottimizza la consegna merci
- EFRUD - Emissions Free Refrigerated Urban Distribution

### TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

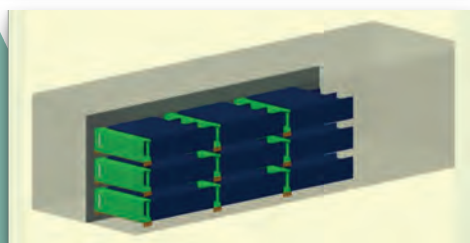
- SMARTBUS - Trasporto a chiamata
- MHYBUS - Miscele metano-idrogeno per il trasporto pubblico locale
- Sistema batterie per ricariche ultrarapide
- Elettrificazione del trasporto pubblico nelle città. Validità e fattibilità di progetto testato su un caso di studio
- BEST - Better Electric Solutions for public Transport
- Procedure di prova per lo studio dell'invecchiamento e del second-life delle batterie

### INFOMOBILITÀ

- STREET© - Il software per la diagnostica del traffico
- SIMP© - Simulatore di Mobilità Pedonale



## HIZEV



L'ENEA ha progettato un sistema di accumulo ad elevate prestazioni basato su moduli a tecnologia OCCL, in grado di erogare elevatissime correnti a parità di capacità, fino a 70 volte la capacità nominale.

Realizzato nel Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo del Centro Ricerche Enea Casaccia, il sistema è il 'cuore' del progetto HIZEV sviluppato da 'Industria 2015' consorzio di medie, piccole e micro aziende, centri di ricerca e università guidato dalla costruttrice di automobili da competizione Picchio Spa per realizzare una vera e propria supercar elettrica con 350 kW di potenza massima e dotato di 150 km di autonomia.

Costituito da celle litio-ioni ad alta potenza con un'autonomia stimata di 180 km (ciclo di omologazione), il sistema di accumulo è posizionato centralmente nel retrotreno.

Il comportamento delle batterie è stato modellato dal punto di vista termico ed elettrico nelle condizioni estreme previste per le gare, validandone le prestazioni attraverso la verifica pratica nel Laboratorio Prove batterie della Casaccia, un impianto di assoluta eccellenza a livello nazionale.

Il progetto HIZEV ha previsto la realizzazione di due veicoli ad alte prestazioni, uno elettrico e uno ibrido, quest'ultimo in grado di muoversi in 3 modalità: solo termico, solo elettrico (con una autonomia di 30 km) e in modalità ibrida. Le due motorizzazioni, installate su telai identici derivati da prototipi nati per applicazioni "racing" della Picchio S.p.a., sono progettate per il duplice utilizzo su strada e sportivo.

### CARATTERISTICHE DEI VEICOLI

Veicolo in versione ibrida	Veicolo in versione elettrico
Trazione a 4 ruote motrici	Trazione a 4 ruote motrici
Avantreno: motore elettrico da 150 kW	Avantreno: motore elettrico da 150 kW
Retrotreno: motore a combustione interna 2000 cc turbocompresso da 450 cv a 7000 rpm	Retrotreno: 2 motori elettrici da 100 kW ciascuno (differenziale a controllo vettoriale)
Sistema di accumulo da 6 kWh: 400 V e 15 Ah tecnologia OCCL (Ossigeno, Carbonio, Cobalto, Litio), posizionato nelle plance laterali del veicolo	Sistema di accumulo da 24 kWh: 400 V e 62 Ah, tecnologia agli Ioni di Litio ad alte prestazioni, posizionato nelle plance laterali del veicolo e posteriormente

# MICROVETTURE

## Sviluppo di prototipi di micro vetture a trazione elettrico-ibrida

ENEA ha progettato e rende disponibili prototipi di veicoli da città elettrici ed ibridi a zero emissioni: Urb-e, a trazione puramente elettrica, e la Spazia HPP (Hybrid Power Pack), una microvetture che dimostra la possibilità di trasferire su di un veicolo di taglia minima il concetto di ibrido “automobilistico”, con power-pack termico-elettrico e batteria di piccola taglia (3 kWh).

Il prototipo Urb-e è stato inizialmente concepito come ibrido di tipo “serie” (con trazione esclusivamente elettrica, generatore a bordo e sistema di accumulo elettrico), con supercondensatori per sperimentare le strategie di gestione dei flussi di potenza. Il prototipo è stato poi utilizzato per mettere a punto altri tipi di motorizzazione quali, ad esempio, l'alimentazione “elettrica pura”, sia con solo batterie al litio, sia con batterie di due tipi e supercondensatori.

Il progetto per la Spazia HPP si è proposto invece di verificare la adattabilità ad un quadriciclo di una motorizzazione ibrida “parallela” con possibilità di marcia anche in elettrico puro. La motorizzazione originale (diesel Lombardini) è stata integrata con una motorizzazione elettrica e una batteria Li-Io compatta e performante, realizzando un power-pack tutto alloggiato sotto il cofano, batteria compresa.

Il prototipo può marciare sia in modalità tradizionale, con il motore diesel, sia “elettrica pura”, sia ibrida (con entrambi i motori) con migliori prestazioni e minori consumi ed emissioni inquinanti allo scarico. Il costo è inferiore a quello di una microvetture “elettrica pura” (batteria di taglia almeno doppia), grazie alla piccola taglia della batteria.

Rispetto ad una microvetture diesel, il costo aggiuntivo, è molto ridotto a fronte di una molto maggiore flessibilità d'uso grazie alla possibilità di marcia a zero-emissioni.

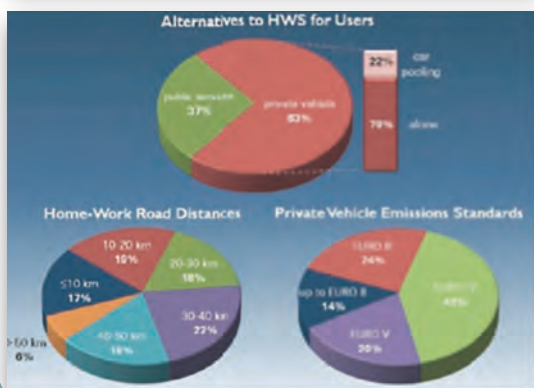




# HOWMOVE

## Homework Mobility Evaluation Tool Suite

### Software per ottimizzare costi e impatti degli spostamenti casa-lavoro



**HOWMOVE** (Home-work mobility evaluation tool suite), è un software che consente di definire misure e strategie di Mobility Management per ottimizzare gli spostamenti casa-lavoro dei dipendenti di enti pubblici e privati e di valutarne l'effetto ex post sulla base di diversi indici di performance.

Si tratta di uno strumento che consente di raccogliere un elevato numero di informazioni attraverso questionari on line per costruire una banca dati efficiente e robusta e fornire sintesi e rappresentazioni grafiche dei dati analizzati.

Il Software dispone di un applicativo in grado di simulare i percorsi sulla rete stradale a partire dalla posizione geografica dell'abitazione indicata in ciascun questionario e di stimare i consumi di carburante e i livelli degli inquinanti a seconda del tipo di veicolo e di strada. Tale modello utilizza i fattori di emissione stimati da ISPRA per l'inventario nazionale dei consumi e delle emissioni del trasporto stradale secondo la classificazione veicolare indicata nelle Linee Guida EEA – CORINAIR per questo tipo di elaborazioni.

**HOWMOVE** consente inoltre di calcolare i costi operativi e di investimento (carburante, assicurazione e manutenzione) e i costi esterni connessi alla congestione, alla sicurezza e al valore del tempo speso in viaggio, sulla base dei parametri europei.

**HOWMOVE** è stato applicato con successo agli spostamenti casa-lavoro del Centro di Ricerche ENEA Casaccia, a circa 25 km a nord-ovest di Roma che ospita 1.200 dipendenti e più di 300 visitatori giornalieri. Il servizio di autobus è organizzato in 12 linee per quattro giorni a settimana, da Lunedì a Giovedì.

L'utilizzo di **HOWMOVE** ha dimostrato che servizio garantisce una maggiore sostenibilità degli spostamenti casa-lavoro consentendo:

- di ridurre del 37% i km/giorno percorsi col mezzo privato
- di risparmiare circa 600 kg al giorno di carburante
- di ridurre 300 tonnellate di CO<sub>2</sub> e più di 80 kg di particolato/anno
- di ottenere circa 1.3 Mln € l'anno di benefici economici per gli utenti e la comunità in generale
- di ridurre le congestioni e incrementare la sicurezza stradale.

# PRIMO

## PRivate Mobility Observatory Il Tool per analizzare la mobilità privata

**PRIMO** PRivate Mobility Observatory è uno strumento per fornire alle Amministrazioni territoriali una base di conoscenza ampia, approfondita e continuamente aggiornata per la definizione di strategie e misure di gestione della mobilità. I

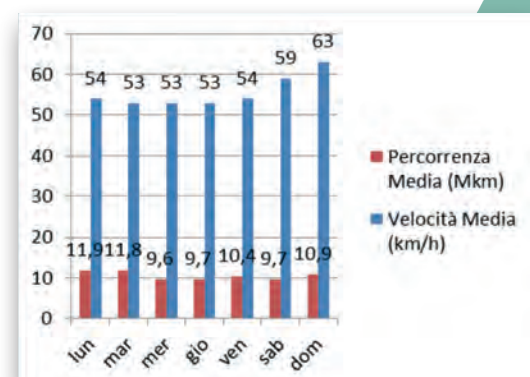
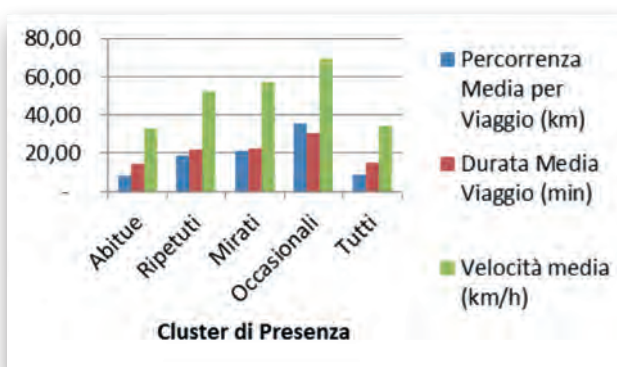
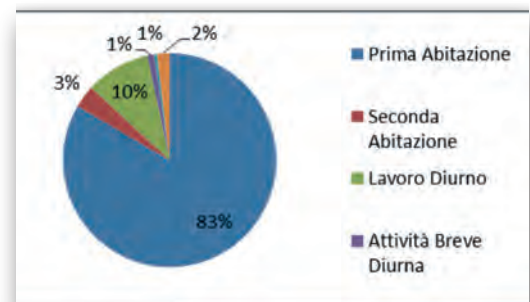
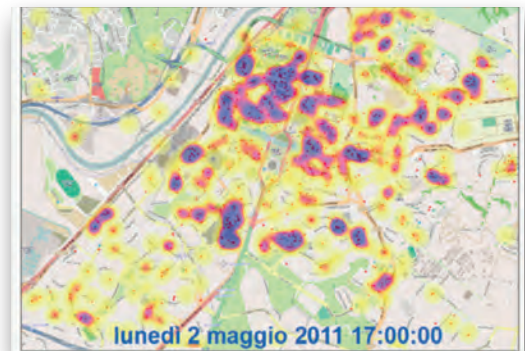
n particolare, **PRIMO** consente di ricostruire il comportamento di campioni statisticamente significativi dell'utenza stradale privata con una risoluzione spazio-temporale più spinta e affidabile rispetto alle usuali tecniche di indagine.

Si tratta di una suite di moduli software in grado di elaborare i dati provenienti da flotte di veicoli dotati di Floating Car Data – FCD, ovvero di sistemi di rilevamento della posizione e della velocità a intervalli regolari di tempo. Realizzato su dati Octo Telematics Italia S.r.l. può essere adattato a dati di altra fonte dello stesso contenuto informativo.

**PRIMO** sviluppato in più ambienti informatici integrati:

- SQL Server per archiviare i dati del monitoraggio in un DataBase relazionale ed estrarre sottopopolazioni significative
- ArcGis per la visualizzare e interpretare i dati di input e di output attraverso l'impiego di mappe tematiche
- Java/C++ per alcune elaborazioni più complesse.

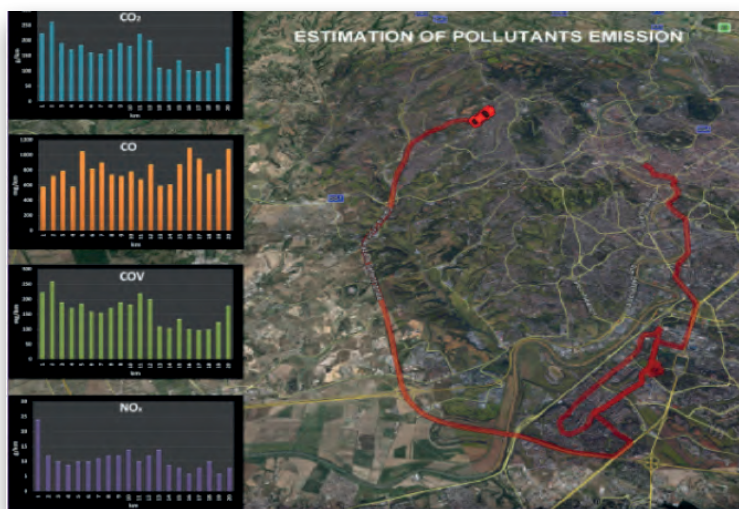
**PRIMO** è stato testato su un campione mensile di rilevazioni interne alla provincia di Roma per analizzare la mobilità sistematica, le soste e le potenzialità di penetrazione di autovetture elettriche.





# ECOTRIP

Software per la stima dei consumi e delle emissioni dei veicoli



**ECOTRIP®** è un software in grado di calcolare in modo puntuale i consumi di carburante e le emissioni da gas di scarico (anidride carbonica, monossido di carbonio, ossidi di azoto, composti organici volatili e particolato) grazie a unità di bordo collegate a una Centrale Operativa. Ideato e realizzato nel Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, **ECOTRIP®** è parte del Progetto PEGASUS, un programma Industria 2015 che ha come obiettivo la realizzazione di una piattaforma infotelematica per la gestione sostenibile e in sicurezza dei flussi di persone, veicoli e merci all'interno di aree urbane ed extraurbane.

La particolarità di questo strumento sta nella capacità di operare sia in fase di riscaldamento (emissioni a freddo) che a temperatura di esercizio (emissioni a caldo) e con diversi livelli di aggregazione e dettaglio.

Consente inoltre di valutare i costi delle esternalità e le strategie ottimali per la gestione della mobilità e anche limitando l'utilizzo dei mezzi privati (ad esempio con strumenti quali road-pricing o crediti di mobilità), e può essere un valido supporto per la messa a punto di polizze assicurative green, che preveda sconti per i veicoli meno inquinanti.

Destinatari e principali utilizzatori sono le imprese dei sistemi Floating Car Data che sviluppano nuove applicazioni destinate a Pubbliche Amministrazioni, Enti Locali, operatori autostradali/stradali e Agenzie della Mobilità, per migliorare e innovare i processi di monitoraggio e gestione del traffico negli aspetti dell'efficienza energetica .

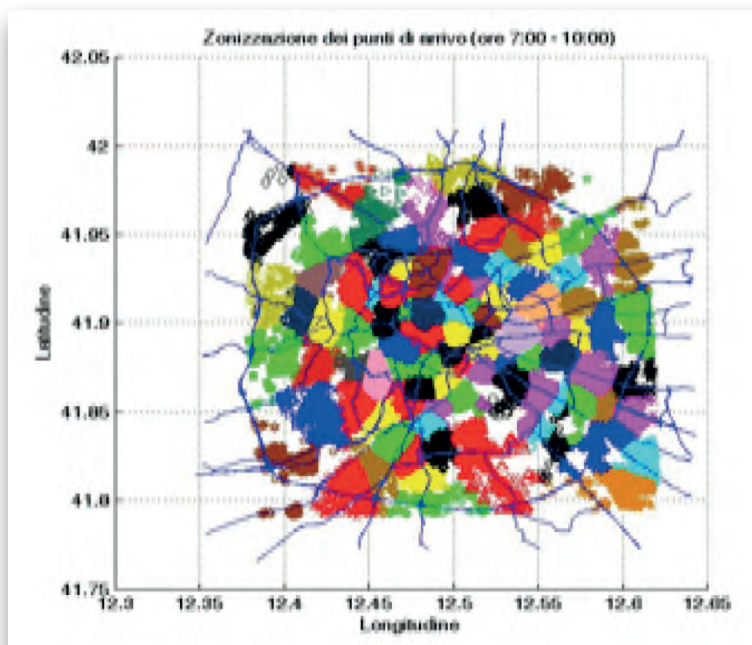
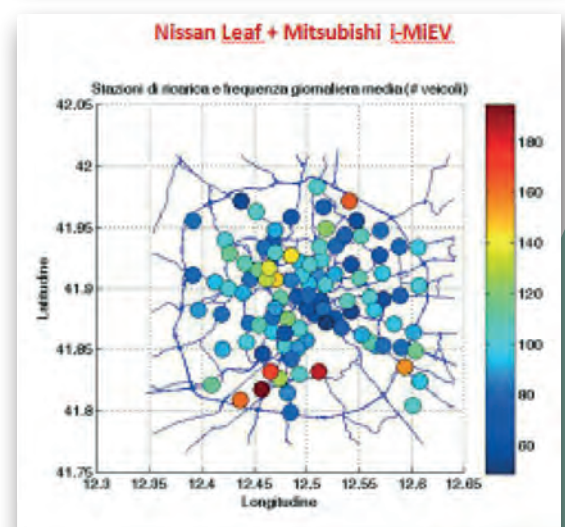
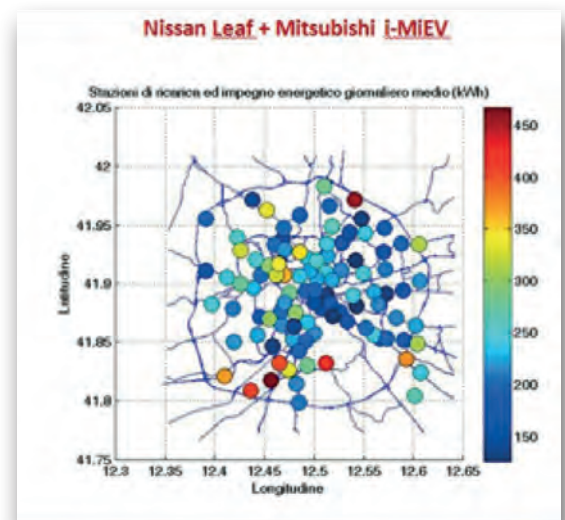
# Collocazione ottimale delle stazioni di ricarica elettrica

Il Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo dell'ENEA ha messo a punto una metodologia per supportare amministrazioni locali e operatori del settore, nella collocazione ottimale delle stazioni di ricarica elettrica nei centri urbani.

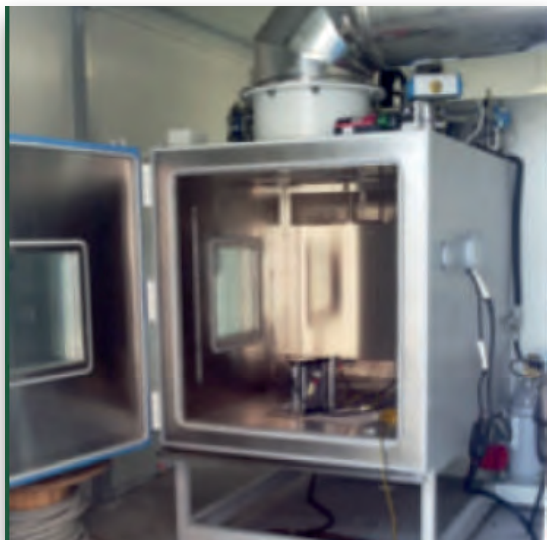
Grazie ad un approccio innovativo, basato sulla costruzione di modelli di simulazione aderenti alla realtà, la metodologia consente di identificare i punti dove realizzare le infrastrutture di ricarica sulla base delle effettive esigenze dell'utenza, secondo il numero di veicoli interessati, il potenziale bacino di sfruttamento e la porzione di territorio.

Nella pianificazione si tiene conto anche di elementi quali le interazioni con il sistema elettrico, la conformazione del territorio e la necessità di modelli di business che garantiscano ritorni economici in presenza di investimenti difficilmente sostenibili con soli interventi pubblici.

La distribuzione geografica, il dimensionamento di potenza e di affluenza delle cosiddette 'colonnine', sono stati calcolati sulla base dei dati georeferenziati raccolti dalla OctoTelematics in un mese di osservazione dei viaggi casa-lavoro e degli spostamenti occasionali nel territorio di Roma. In particolare, sono stati stimati il numero di viaggi effettuati, le distanze coperte e la distribuzione geografica dei punti di arrivo.



## Prove di sicurezza delle batterie



Le prove di sicurezza e prevenzione dei possibili incidenti provocati da reazioni indesiderate delle batterie (Loss prevention) sono un filone di ricerca di particolare rilievo tenuto conto della crescente diffusione delle tecnologie di accumulo elettrochimiche con le batterie Litio-ione per cellulari, PC portatili, tablet, e-book e sigarette elettroniche, ma anche nella mobilità elettrica e nei sistemi per l'accumulo e la ridistribuzione dell'energia prodotta con fonti rinnovabili alternative.

In questo campo ENEA dispone di laboratori e infrastrutture avanzate per lo studio delle condizioni in cui le batterie possono esplodere e/o incendiarsi, per l'analisi delle sostanze che si sviluppano in caso di incidente, dei sistemi di prevenzione, delle procedure di emergenza e di gestione, con particolare riferimento ai mezzi da utilizzare in caso di fiamme.

Si tratta, in particolare, del Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, recentemente dotatosi anche di una camera climatica "a prova di scoppio" e, in collaborazione con il Centro Casaccia, di un campo prove all'aperto, l'impianto FARO -primo in Italia e uno dei pochi in Europa- per prove distruttive su i grandi sistemi d'accumulo e per collaudare i diversi sistemi di estinzione.

Le attività sono finanziate dalla Ricerca di Sistema Elettrico del Ministero dello Sviluppo Economico per fornire dati e informazioni utili per la realizzazione di locali di accumulo o di ricarica dei veicoli elettrici e contribuire alla normazione di questi settori.





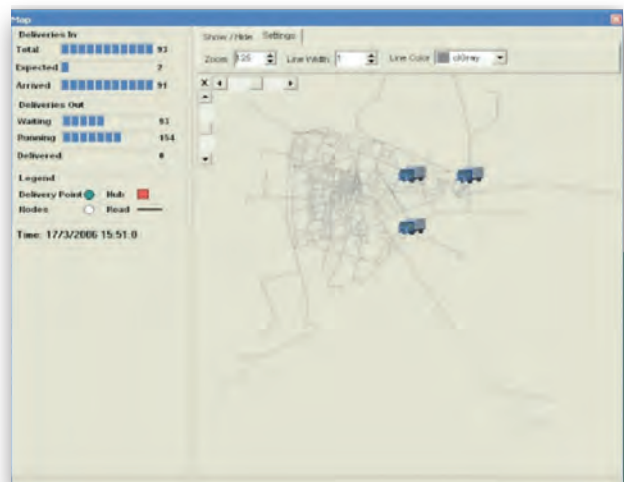
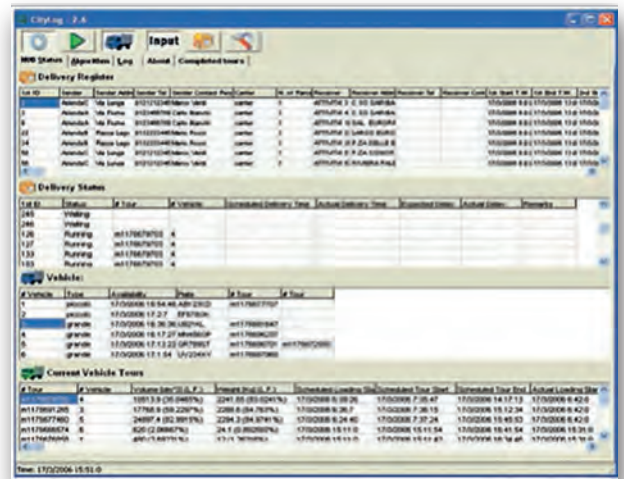
# CITYLOG®

Il software che ottimizza la consegna merci

**CITYLOG®** è un software sviluppato dall'ENEA e dal Dipartimento di Trasporti dell'Università di Roma "La Sapienza", in grado di indicare soluzioni ottimali di consegna merci anche in caso di arrivi casuali. Il software è un utile supporto alle società che gestiscono centri di distribuzione merci per migliorare efficienza e qualità del servizio, attraverso la programmazione - e l'eventuale riprogrammazione in caso di anomalia - degli orari, dei carichi e dei percorsi e può essere di interesse di società che producono software industriali.

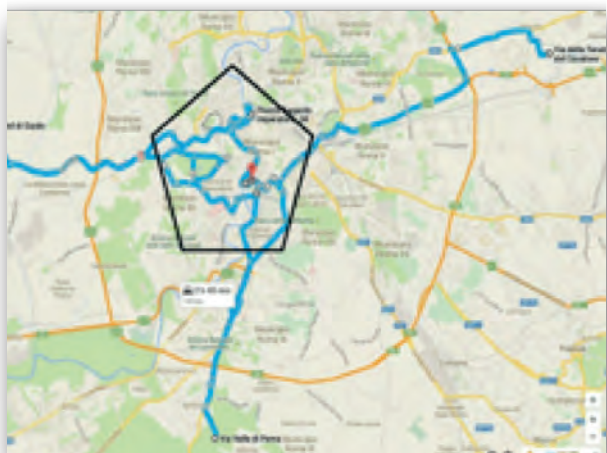
A livello operativo, **CITYLOG®** utilizza procedure euristiche, che non garantiscono un risultato esatto ma lo approssimano attraverso l'uso di algoritmi genetici, ed è composto da un'interfaccia utente e da moduli per l'ottimizzazione, la simulazione in tempo reale e la pianificazione di medio periodo dei percorsi. Ciò consente di ridurre i tempi di consegna e gli impatti energetici ed ambientali, migliorando la controllabilità e la tracciabilità.

Il software è inoltre predisposto per accogliere i dati del monitoraggio dei veicoli tramite GPS.



## EFRUD

### Emissions Free Refrigerated Urban Distribution



**EFRUD** è un innovativo sistema di trasporto merci deperibili che consente di ridurre l'impatto ambientale e migliorare l'efficienza energetica di questa attività. Finanziato dal programma LIFE + della Commissione Europea, prevede l'utilizzo di una cella frigorifera basata sull'accumulo di frigoriferie (senza l'uso di un compressore) montata su veicoli bimodali (elettrico/diesel) che possono marciare con motore termico nei percorsi extra-urbani e con trazione elettrica nei percorsi in città.

**EFRUD** comprende inoltre:

- un sistema diagnostico di bordo (HW/SW) per l'acquisizione, gestione e trasmissione in tempo reale dei dati cinematici ed ambientali
- una cella box con sistema di refrigerazione ad accumulo di frigoriferie (tecnologia RaFTM) che viene precaricato di freddo alla stazione di partenza con circa 14 KWh di energia elettrica al giorno
- una centrale operativa di controllo che raccoglie i dati di temperatura ed umidità della cella e consente di estrapolare parametri di controllo per stimare lo stile di guida del conducente
- un display che evidenzia le condizioni di in regime transitorio ed a regime del motore e una piattaforma di E-learning dotata di un display in cabina per indicazioni "in tempo reale" al conducente, a supporto di modalità di guida più ecologiche.

ENEA ha sviluppato la strumentazione e la sensoristica di bordo (apertura/chiusura porte, temperatura e umidità, ventilazione per stratificare l'aria all'interno della cella frigo) e un sistema HW/SW per l'acquisizione e trasmissione dati (OBU), un display per il conducente e una centrale operativa di terra per il coordinamento e gestione. Dalle sperimentazioni eseguite nel centro storico di Roma per un totale di 8500 km, in diversi giorni e orari è emerso che i conducenti che avevano seguito la formazione sullo stile di guida hanno ottenuto una significativa riduzione di consumi di carburante ed inquinanti.

Il sistema di raffreddamento ad accumulo di frigoriferie è stato in grado di mantenere la temperatura sempre al di sotto di 7-8 °C senza interruzione della catena del freddo, consegnando le merci fresche fornite dagli operatori coinvolti (Tenuta del Cavaliere, produttore di latte biologico, latticini-formaggi e Agricoltura Nuova, produttore e distributore di frutta e verdura biologica ed altri prodotti con marchio a km 0) a mercati rionali, bar, ristoranti e negozi.

In tutte le tratte percorse in ZTL o isole pedonali è stata utilizzata la trazione elettrica con benefici in termini di riduzione delle emissioni e rumore zero. Nell'insieme, dal monitoraggio del veicolo nelle consegne è emerso un consistente calo di consumi e di inquinanti rispetto ad un veicolo a trasporto convenzionale ed un benefit economico anche per gli addetti alle consegne.

Oltre ad ENEA al progetto hanno partecipato Consorzio TRAIN, ROMA Capitale, Fondazione METES, ITENE di Valencia.

# SMARTBUS

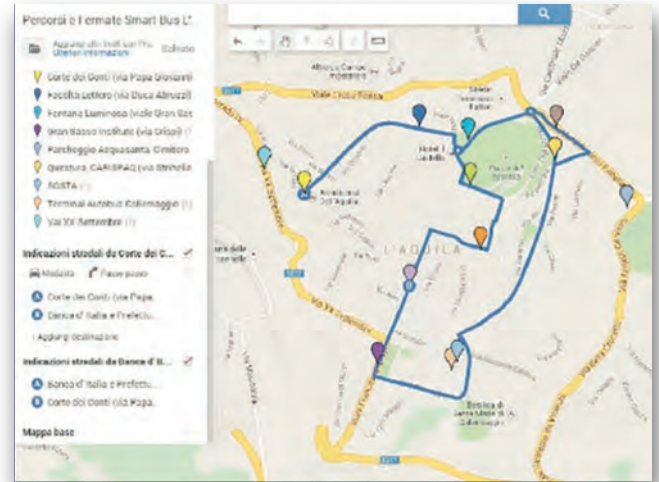
## Trasporto a chiamata

**SMARTBUS** è un sistema di ‘bus a chiamata’ per migliorare l’offerta di trasporto pubblico e incrementare il numero di passeggeri. Il sistema è stato ideato dall’ENEA sulla base di un algoritmo che consente di ottimizzare il servizio in termini di percorso, autonomia di ricarica, capacità di trasporto. Smartbus è stato sperimentato all’Aquila con un autobus a trazione diesel/elettrica collegato a un centro operativo telematico per gestire le richieste di trasporto inviate dai cittadini attraverso un sito dedicato; l’accettazione/rifiuto viene comunicata agli utenti (anche via SMS), insieme all’orario di prelievo e all’autista dell’autobus con il percorso, le fermate e gli utenti prenotati.

Il sistema elettronico è collegato con la sensoristica di bordo, con il sistema di localizzazione satellitare GPS e con un centro operativo di terra, in modo bidirezionale e senza fili.

In prospettiva queste tecnologie consentiranno ricariche rapide e parziali “su strada” ad intervalli spaziali predefiniti e, quindi, l’utilizzo di un accumulo elettrico “minimo”: La batteria potrà essere dimensionata non più sulla base della percorrenza giornaliera (ad esempio 200 chilometri), ma del percorso tra una ricarica parziale e quella successiva (ad esempio ogni 5-10 fermate, oppure al capolinea).

**SMARTBUS** è attrezzato con il sistema NASUS, sviluppato da ENEA, in grado di acquisire dati in tempo reale e di analizzare posizione, stato di carica della batteria, velocità, passeggeri, ecc. e la qualità dell’aria ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ) grazie alla possibilità di trasmissione wireless lungo il percorso.



ENEA - Dipartimento Tecnologie Energetiche  
Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficiente dell’Energia  
Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l’Accumulo  
carlo.liberto@enea.it; gaetano.valenti@enea.it



## MHYBus

### Miscele metano-idrogeno per il trasporto pubblico locale



Nell'ambito del Progetto Europeo LIFE+MHYBUS gestito dalla Regione Emilia Romagna per la riduzione dei consumi e delle emissioni del trasporto pubblico locale, l'ENEA è stata impegnata nella ricerca e sperimentazioni sulle miscele idrogeno-metano, una tecnologia di alimentazione dei motori a combustione interna rivelatasi molto promettente.

In particolare, nella Sala prova motori del Laboratorio Veicoli a Basso Impatto Ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia la mappatura della centralina di gestione del motore è stata ridisegnata, in funzione delle specifiche caratteristiche del combustibile.

Dopo i risultati molto positivi certificati dalla prova di omologazione all'Istituto Motori di Napoli, il motore è stato montato a bordo di MHY BUS, un autobus che svolge servizio di trasporto pubblico a Ravenna e si rifornisce di una miscela al 15% di idrogeno presso lo stabilimento SOL, utilizzando una stazione di ricarica della miscela gassosa facilmente trasportabile (un container da 8 metri) di proprietà dell'ENEA.

Le misurazioni periodiche effettuate da ENEA hanno dimostrato che le prestazioni in termini di consumi ed emissioni sono rimaste invariate nel tempo e che il motore non presenta alterazioni all'interno della camera di combustione.

#### Vantaggi

L'aggiunta di idrogeno al metano migliora combustione e rendimento energetico del motore e consente il pieno utilizzo del combustibile, la riduzione dei consumi e delle emissioni di  $CO_2$ .

Le miscele  $H_2-CH_4$  offrono poi un ottimo rapporto costi/benefici (ambientali ed energetici) sia rispetto al motore alimentato ad  $H_2$  puro, sia rispetto alla fuel cell. Infatti un motore a combustione interna alimentato ad idrogeno puro ottenuto per *steam reforming* del metano, è peggiorativo in termini di emissione della  $CO_2$  rispetto allo stesso motore alimentato a metano, poiché la  $CO_2$  è stata precedente emessa in stabilimento durante il processo di produzione dell'idrogeno stesso (separazione dei due elementi della molecola  $CH_4$ ).

Nell'uso della miscela  $CH_4-H_2$ , invece, si gode di un "effetto leva" uguale a due, cioè una riduzione della  $CO_2$  doppia di quella legata alla sola sostituzione di atomi di carbonio nel combustibile con atomi di idrogeno, il che equivale, in termini di utilizzo dell'idrogeno, a raddoppiarne l'efficacia specifica.

E questo avvicina il rendimento del sistema a quello di una cella a combustibile, mentre i costi rimangono quelli, molto più bassi, di una motorizzazione tradizionale.

Grazie alla comunanza dei sistemi di stoccaggio e trasporto con il metano, le miscele possono costituire un sistema flessibile per lo sviluppo graduale del sistema idrogeno: nella rete del metano possono essere immesse percentuali inizialmente ridotte di idrogeno da incrementare gradualmente all'aumentare della quantità di idrogeno prodotto per esempio da fonti rinnovabili.



# Sistema batterie per ricariche ultrarapide

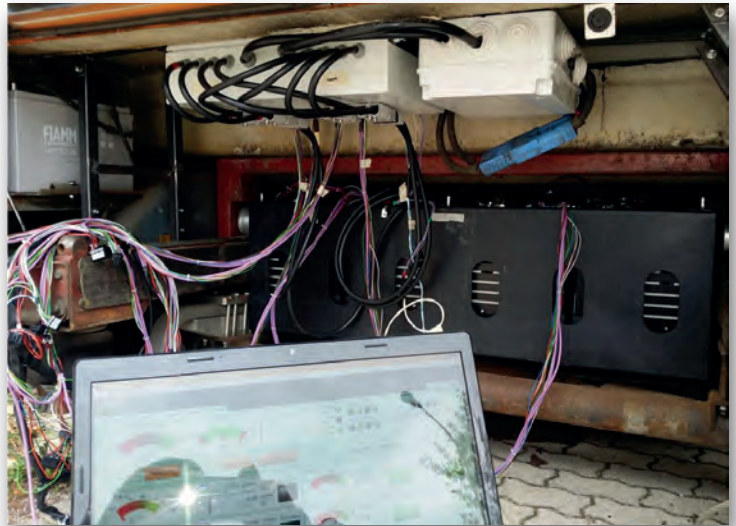
L'ENEA ha realizzato e testato un innovativo sistema di batterie al litio che consente una ricarica completa in 20 minuti e ricariche parziali di 5' - 10' durante le soste ai capolinea, sufficienti al reintegro dell'energia consumata durante la marcia.

Grazie al sistema di raffreddamento "attivo" di cui è dotata, questa tecnologia è particolarmente adatta per autobus di piccola taglia, adibiti al trasporto pubblico come ha dimostrato la sperimentazione sul Minibus "Gulliver" della Tecnobus fornito dal Centro Ricerche per il Trasporto e la Logistica dell'Università di Roma La Sapienza.

Il sistema batterie messo a punto nel Laboratorio "Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo" è costituito da 24 unità del modulo da 12 V – 60 Ah. Per raggiungere la tensione nominale di alimentazione del veicolo, 72 V, i moduli sono disposti in serie, formando stringhe da sei elementi, che i due contenitori in cui erano alloggiati le originarie batterie al piombo possono accogliere nel numero di quattro, disposte in parallelo. Grazie alle caratteristiche delle batterie, molto più "dense" energeticamente, il peso complessivo del sistema risulta ridotto ad  $\frac{1}{4}$  del peso del sistema originario. Il modulo batterie (previste tre taglie: 30Ah, 60Ah, 100Ah) è costituito da quattro celle connesse in serie, da un sistema elettronico di gestione e controllo BMS (Battery Management System) e da un sistema di raffreddamento ad aria forzata. Esso è in grado di lavorare da solo o in combinazioni serie/parallelo per costruire sistemi batterie completi, gestibili con un "supervisore" programmabile. In questo modo è possibile ottenere i livelli di tensione/capacità necessari a molte applicazioni nel campo della trazione dei veicoli elettrici e dell'avviamento/alimentazione ausiliari anche per il settore nautico.

Il sistema elettronico di gestione e controllo è costituito da due schede sviluppate in collaborazione con il Dipartimento d'Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa: la prima scheda provvede al monitoraggio, alla protezione ed al bilanciamento attivo dello stato di carica delle singole celle del modulo, mentre la seconda scheda ai collegamenti di potenza e segnale "senza fili".

Il sistema di batterie per ricariche ultrarapide è sviluppato nell'ambito del Progetto "ENEA-CNR per lo sviluppo del tessuto produttivo del Mezzogiorno", con i finanziamenti del Ministero dello Sviluppo Economico per la Ricerca di Sistema Elettrico.



Caratteristiche principali del minibus "Gulliver"	
Peso (senza batterie di trazione)	2'800 ± 100 kg
Lunghezza	5.1 m
Passeggeri	27 (di cui 10 seduti)
Potenza trazione	25 kW (picco) 20 kW (nominale)
Consumo chilometrico medio	500 Wh/Km



# Elettificazione del trasporto pubblico nelle città

Validità e fattibilità di progetto testato su un caso di studio



L'elettificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale può contribuire alla transizione verso una mobilità più sostenibile; in questo contesto l'ENEA ha realizzato uno studio per verificare la possibilità di elettrificare il trasporto pubblico, senza modificare il servizio, grazie all'utilizzo di tecnologie veicolari e di ricarica innovative. I progressi nei sistemi di accumulo e di ricarica consentono di superare problematiche quali autonomia di guida e lunghezza della ricarica e aumentano le possibilità di successo dei progetti di elettrificazione.



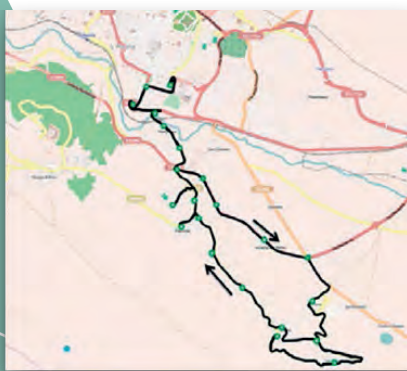
Come "laboratorio" è stata scelta L'Aquila dove per due linee di trasporto pubblico a bassa frequentazione che collegano il centro con le vicine periferie, è stata simulata la sostituzione dei tradizionali autobus diesel con due mezzi elettrici alimentati a batteria e dotati di dispositivi per rilevare posizione, velocità e carico in corso dell'esercizio, inclusi i trasferimenti da e per il deposito. Lo studio è stato sviluppato sulla base dei dati di marcia rilevati a bordo macchina; attraverso operazioni di filtraggio e smoothing dei dati è stato poi estratto il profilo di missione stagionale per ogni bus utilizzato, correlandolo ai dati di consumi energetico.

L'analisi costi-benefici ha dato risultati molto positivi in termini di risparmio di energia e di costi, evidenziando inoltre come il corretto posizionamento delle stazioni di ricarica nei nodi strategici della rete di trasporto pubblico è di fondamentale importanza per valutare la fattibilità economica del progetto.

I risultati ottenuti e la metodologia sviluppata hanno portato alla decisione di realizzare un DSS (Decision Support System) che consenta ai responsabili delle aziende di trasporto pubblico locale di verificare la fattibilità tecnico-economica dell'elettificazione.

Il DSS è stato pensato come uno strumento di simulazione per valutare le prestazioni di un bus elettrico sul ciclo di guida reale precedentemente rilevato per determinare, secondo per secondo, i consumi e lo stato di carica della batteria, dato il contenuto energetico iniziale.

I tecnici dell'azienda di trasporti interessata all'elettificazione di una linea di autobus possono quindi verificare se è possibile il passaggio all'elettrico, simulando il funzionamento di autobus con batterie di taglia crescente, ed emettere quindi capitolati per i bandi di gara che specifichino le caratteristiche minime delle batterie necessarie.



Scenario di base	Azienda	Collettività
Valore Attuale Netto (VAN)	€ 9.095	€ 3.473
Rapporto Beneficio/Costo (B/C)	1,05	1,02
Tasso Interno di Rendimento (TIR)	7,5%	4,3%





# BEST

## Better Electric Solutions for public Transport

**BEST** è un software per la valutazione tecnica, economica e ambientale dell'elettificazione di una linea di trasporto pubblico locale, quale strumento di supporto per le aziende di trasporto pubblico locale, per individuare le linee più adatte per un eventuale utilizzo di veicoli elettrici a batteria. Il software è stato sviluppato nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerca sul Sistema Elettrico e consente un'accurata verifica della fattibilità tecnica ed economica di alcune possibili soluzioni tecnologiche per l'elettificazione, confrontando dal punto di vista ambientale e dei costi la soluzione scelta con due alternative convenzionali (diesel e gas naturale compresso).

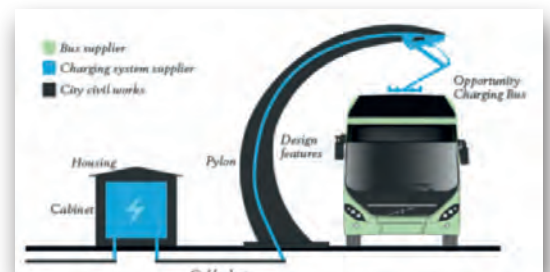
**BEST** è uno strumento innovativo che integra conoscenze specialistiche che vanno dalle tecnologie veicolari alle metodologie per la stima degli indicatori prestazionali economici e ambientali. Utilizza gli Open Data in formato GTFS, messi a disposizione da parte degli operatori del trasporto pubblico locale, in base alla normativa europea e nazionale vigente.

Il software si compone di quattro moduli di calcolo che permettono, rispettivamente:

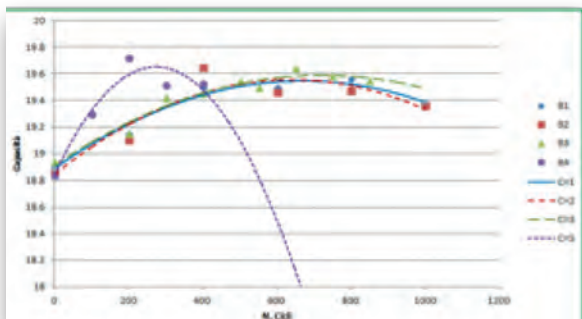
- di stimare il consumo energetico e le emissioni di gas serra e di inquinanti in atmosfera delle diverse alternative tecnologiche
- di verificare la fattibilità tecnica delle architetture elettriche e dimensionare l'accumulo di bordo ed il relativo sistema di ricarica
- di confrontare le diverse soluzioni, sia elettriche che convenzionali, da un punto di vista economico, attraverso l'analisi dei costi di investimento e di esercizio
- di stimare i costi esterni generati dalle emissioni nocive e del rumore veicolare nelle diverse alternative energetiche.

**BEST** può essere applicabile ad ogni contesto urbano grazie alla standardizzazione dei dati di input: è stato già testato su alcune linee di autobus della rete ATAC di Roma e sarà applicato ad altre due città di medie dimensioni per esaminare la potenzialità di elettificazione del TPL.

Inoltre, entro la fine del 2017, sarà potenziato in collaborazione con l'Università dell'Aquila, tenendo conto di altre soluzioni tecnologiche di elettificazione del trasporto pubblico locale come gli autobus ibridi e filobus elettrici. Sarà inoltre valutata la possibilità di elettificazione della rete di trasporto pubblico locale nel suo complesso, tenendo conto di eventuali economie di scala.



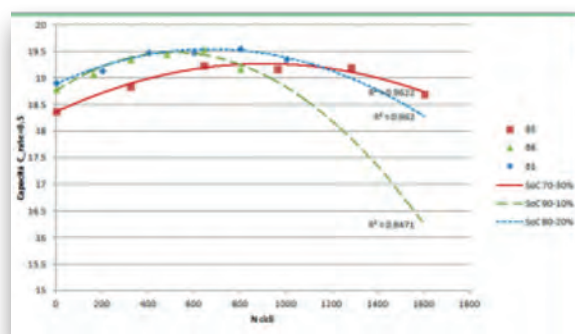
# Procedure di prova per lo studio dell'invecchiamento e del second-life delle batterie



ENEA ha sviluppato procedure di prova avanzate per lo studio dell'invecchiamento e del second-life delle batterie ricaricabili. Si tratta di sistemi di accumulo di energia particolarmente rilevanti, adatti ad un vasto campo di utilizzo: prevederne degrado e guasti, migliorandone vita ed affidabilità è un problema complesso, ma di fondamentale importanza poiché i meccanismi che portano al degrado sono molteplici e la scelta dei fattori di stress, delle condizioni di prova, della chimica delle batterie influenza in maniera determinante i risultati delle prove.

I ricercatori ENEA hanno inoltre studiato il riutilizzo di batterie al litio in second-life per applicazioni di potenza per usi differenti, come ad esempio l'accumulo stazionario, per arrivare a sistemi energeticamente più efficienti ed economicamente più convenienti. Le maggiori criticità risiedono nell'assemblaggio di celle omogenee e quindi nella definizione di criteri omogenei di ritiro e caratterizzazione delle celle, ma anche nella necessità di un'elettronica di controllo "ad hoc" per l'ottimizzazione delle prestazioni e la gestione della sicurezza.

Gli studi hanno evidenziato che nella determinazione dei criteri di ritiro e di riutilizzo delle celle è cruciale il profilo di lavoro cui saranno sottoposte le batterie realizzate con celle in second-life. Una volta identificate le caratteristiche della cella degradata, occorre individuare i valori massimi per correnti continue ed "impulsive" che non provochino il degrado veloce della cella e sviluppare quindi un insieme di profili di lavoro che la cella sia in grado di sopportare con successo. Questo porta all'identificazione di applicazioni compatibili con tali profili.



# STREET

## Il software per la diagnostica del traffico

**STREET®** (Short-term TRaffic Evolution forEcasting Tool) è un software per la diagnostica del traffico stradale e la previsione della sua evoluzione nell'immediato futuro, in un arco temporale tra i 15 e i 60 minuti. È stato ideato e realizzato nel Laboratorio "Mobilità Sostenibile" dell'ENEA nell'ambito del Progetto PEGASUS del programma Industria 2015 ed è in grado di operare sia dai dati rilevati da reti diffuse di sensori di traffico fissi, sia da stime basate sull'elaborazione di dati anonimi di posizione GPS trasmessi da flotte di veicoli in movimento.

**STREET®** incorpora un insieme di modelli di tipo "data-driven" (regressivi, pattern-matching e reti neurali) con diversi gradi di complessità teorica e computazionale.

Due approcci fondamentali, di tipo *univariato* e *multivariato*, possono essere applicati in **STREET®** per la specificazione del modello di previsione e la scelta delle variabili più significative. Nell'approccio *univariato* i modelli sono definiti e stimati per ciascun arco stradale e le previsioni degli stati futuri del traffico sono basate esclusivamente sulle misure/stime attuali e più recenti realizzate sull'arco di riferimento. Nell'approccio *multivariato* i modelli hanno una struttura in grado di considerare come variabili in ingresso anche le fluttuazioni di traffico più recenti misurate/stimate sugli archi correlati posti a monte e a valle del tratto di strada preso in esame. Questa proprietà dei modelli riveste particolare importanza in quanto rafforza la loro capacità di cogliere/apprendere le dinamiche evolutive del traffico nello spazio e nel tempo e, quindi, di prevedere le diverse modalità di propagazione/dissipazione della congestione che si possono manifestare per improvvise variazioni della domanda e/o della capacità della rete.

**STREET®** include la funzione di calibrazione/training dei valori numerici dei parametri dei modelli che viene applicata sia nella fase iniziale di messa a punto dei modelli a partire da un set di dati storici, sia per periodici aggiornamenti, particolarmente necessari nei casi in cui si manifestino significativi cambiamenti nella struttura del traffico conseguenti a modifiche delle caratteristiche fisiche e funzionali della rete viaria.

In **STREET®** è compresa la funzione di testing che consente di verificare fuori linea la capacità predittiva dei diversi modelli e di monitorare nel tempo le loro prestazioni nelle diverse situazioni di traffico attraverso il calcolo di opportuni indicatori di accuratezza delle previsioni a livello di parte della rete stradale, ad esempio un quartiere, e del suo insieme, ovvero l'intera città. Questa funzione consente di individuare i punti di forza e le criticità dei modelli proposti nelle reali condizioni di utilizzo e di ricavare indicazioni utili per eventuali correzioni per aumentarne costantemente accuratezza e affidabilità. La funzione di testing consente inoltre di definire la combinazione "ottima" delle previsioni dei diversi modelli per ottenere performance superiori rispetto alle singole previsioni.

**STREET®** è inoltre dotato di una funzione di analisi on-line delle stime correnti del traffico che consente di identificare stati anomali e di migliorare l'accuratezza dei modelli di previsione nel tempo e nello spazio.

Dotato di interfaccia utente che consente di accedere alle singole funzioni, il software è scritto totalmente in JAVA per assicurarne l'indipendenza dalla piattaforma sulla quale verrà eseguito; è stato installato e reso funzionante sulla piattaforma telematica del sistema *Floating Car Data* di Octotelematics per la previsione del traffico sulla rete viaria di Roma.





# SIMP©

## Simulatore di Mobilità Pedonale

**SIMP©** è un software in grado di simulare i flussi pedonali all'interno di ambienti strutturati, quali ad esempio le stazioni della metropolitana, al fine di migliorarne il livello di sicurezza. Il simulatore affronta le tematiche legate al comportamento pedonale considerando l'ambiente di simulazione come un sistema complesso, dove il rischio per l'utente è variabile nel tempo e si possono verificare situazioni di vera e propria emergenza, fino ad arrivare a fughe di massa con episodi di calpestamento e schiacciamento, morti e feriti.

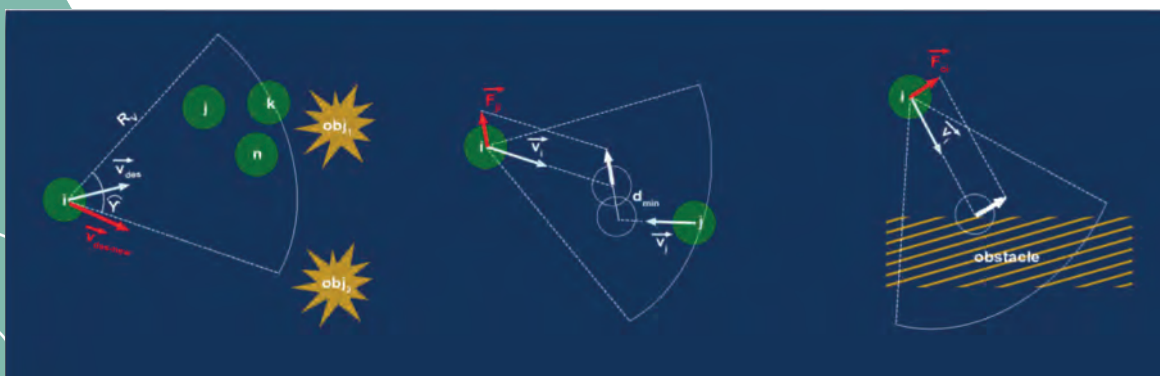
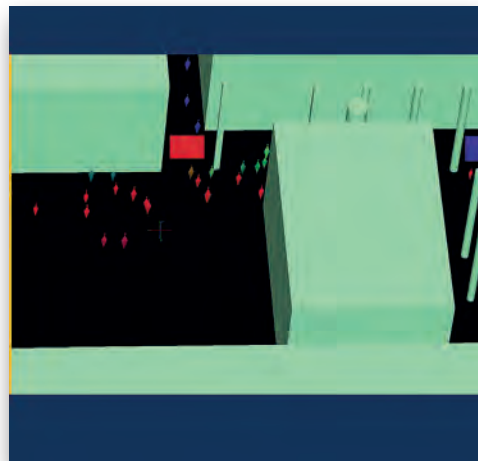
**SIMP©** è stato sviluppato attraverso l'utilizzo di strumenti di simulazione ad agenti autonomi: unità computazionali dotate di percezione (informazioni ricevute dall'ambiente in base alle particolari proprietà sensoriali), ragionamento (data processing) ed autonomia (compiere azioni per realizzare determinati obiettivi) partendo dalle planimetrie dell'ambiente e dai dati numerici di affluenza delle persone.

Partendo dalla planimetria dell'ambiente in esame, dallo studio delle direzioni dei flussi e dai dati numerici medi sull'affluenza delle persone **SIMP©** è in grado di:

- modellare comportamenti collettivi emergenti a partire dallo studio del comportamento del singolo individuo
- caratterizzare la dinamica pedonale al variare delle condizioni al contorno, sia in situazioni di gestione ordinaria, sia in condizioni di criticità
- testare le planimetrie dell'ambiente in fase di progettazione.

**SIMP©** è utile per:

- migliorare il controllo e la supervisione della mobilità
- diagnosticare in anticipo eventuali criticità o turbolenze nel deflusso pedonale
- gestire efficacemente eventuali emergenze
- ottenere adeguamenti geometrici e strutturali dell'ambiente di studio
- testare criteri di sicurezza negli ambienti ad elevata affluenza di persone.



**ENEA**

**Dipartimento Tecnologie Energetiche**

**Ing. Gian Piero Celata**

**Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficiente dell'Energia**

**Ing. Stefano Giammartini**

**Laboratorio Sistemi e Tecnologie  
per la Mobilità e l'Accumulo**

**Ing. Giovanni Pedè**