



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

# ENECA per la Mobilità Elettrica

Sviluppo di tecnologie di base

Sviluppo di prototipi veicolari

Software di supporto alla diffusione della mobilità elettrica

Prove di laboratorio e in reali condizioni di esercizio





# ENEA per la Mobilità Elettrica

*L'innovazione tecnologica nel settore dei trasporti è uno strumento importante per contribuire a migliorarne la sostenibilità energetica, ambientale ed economica. Il rinnovamento tecnologico, ben coadiuvato da una scelta modale diversificata e da una organizzazione del territorio, assume un ruolo importante nella riduzione della dipendenza dalle fonti fossili per il settore del trasporto.*

*Sul fronte della mobilità sostenibile ENEA è attiva con ricerche e progetti relativi al trasporto individuale, collettivo e delle merci. Nel novero delle iniziative di ricerca, l'elettromobilità è un tema attuale e rilevante per promuovere quel modello di sviluppo sostenibile che veda la mobilità anche come elemento di crescita economica e di progresso sociale.*

*La transizione verso l'adozione del vettore elettrico per la mobilità impone scelte tecniche e valutazioni di impatto che si riflettono sulla rete elettrica e sulle risorse del Paese. In questo quadro la ricerca diviene un attore essenziale per esplorare soluzioni, proporre alternative e valutare effetti del passaggio alla mobilità elettrificata.*

*ENEA è presente su questo proscenio tramite iniziative progettuali europee e nazionali per promuovere, avanzare e verificare soluzioni tecnologiche per l'elettrificazione e la gestione della mobilità. Un programma di finanziamento pubblico è costituito dalla Ricerca di Sistema Elettrico indirizzato ad accrescere le prestazioni del sistema elettrico nazionale attraverso una migliore efficienza sistemica.*

*In questo ambito differenti ricerche sono state condotte per proporre soluzioni innovative per l'utilizzo del veicolo elettrico, per la ricarica e per la riduzione degli impatti sulla rete elettrica. Ad affiancare la tecnologia troviamo un nutrito insieme di strumenti informatici volti ad sostenere amministratori locali, gestori delle reti di trasporto e investitori privati nella valutazione delle possibili modalità di elettrificazione delle linee di trasporto pubblico, nella realizzazione di strutture di ricarica e nella migliore dislocazione possibile delle stazioni di ricarica.*

*Punto di riferimento della ricerca ENEA in questo settore è il Dipartimento Tecnologie Energetiche che dispone di laboratori ad alta specializzazione quali il Laboratorio Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo che possiede impianti e strutture per le prove su sistemi di accumulo e veicoli. Di seguito questa pubblicazione propone le principali iniziative di ENEA nell'ambito dell'elettromobilità sviluppate in seno al programma di Ricerca di Sistema Elettrico, e non solo, descrivendone sinteticamente i risultati acquisiti e le prospettive di sviluppo.*

1

## Sviluppo di tecnologie di base

- Sistema di ricarica Flash per autobus elettrici urbani
- Ricarica contactless dinamica
- Recupero energetico mediante ultracapacitori

2

## Sviluppo di prototipi veicolari

- HIZEV
- Microvetture

3

## Software di supporto alla diffusione della mobilità elettrica

- Simulatore di scenari per la ricarica veloce di autovetture elettriche
- Software per l'elettrificazione del Trasporto Pubblico urbano
- eMU eMobility simUlation

4

## Prove di laboratorio e in reali condizioni di esercizio

- Studio dell'invecchiamento e utilizzo in second life delle batterie
- Impatti della mobilità elettrica: emissioni elettromagnetiche dei sistemi di ricarica per autoveicoli elettrici
- Sicurezza di esercizio delle batterie
- Testing su banco a rulli e su strada di veicoli a basso impatto ambientale

1

## Sviluppo di tecnologie di base

# Sistema di ricarica Flash per autobus elettrici urbani

L'infrastruttura di ricarica è uno dei punti cruciali per la diffusione dei sistemi di trasporto elettrici e con energie a bordo dei veicoli sempre maggiori anche le potenze di ricarica diventano sempre più elevate.

Nei sistemi di trasporto pubblici, le grandi quantità di batterie (dell'ordine anche dei 300 kWh) possono essere ridotte ricaricando gli stessi più frequentemente e, per non tener

il bus troppo tempo fermo, con potenze molto elevate. Il caso più particolare è proprio quello in cui l'autobus viene ricaricato ad ogni fermata (ricarica Flash) e con un tempo comparabile con la salita e la discesa dei passeggeri. Si parla quindi di potenze dell'ordine dei 300 kW in 20-30 secondi!

La presente attività riguarda proprio una applicazione di ricarica Flash con un sistema di accumulo sull'autobus basato

su supercondensatori in grado di poter accettare potenze così elevate. La ricarica, automatizzata, avviene tramite un pantografo che automaticamente si collega alla stazione durante la fermata e si scollega quando il trasferimento di energia è finito.

La stazione di ricarica è dotata anch'essa di un accumulo basato su supercondensatori in modo da non richiedere picchi di potenza alla rete elettrica, che causerebbero non pochi problemi.

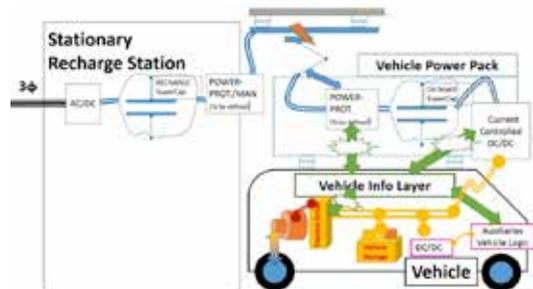
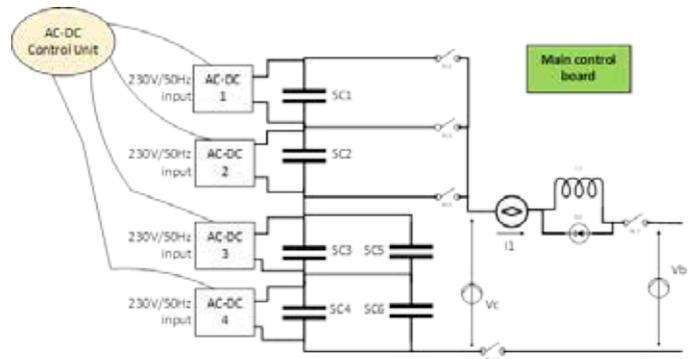
La ricarica avviene senza alcun convertitore ad alta potenza, ma per travaso di carica tra i supercondensatori (carichi) della stazione di ricarica e del bus (scarichi) e con aggiunta di un

induttore per limitare la massima corrente negli istanti iniziali della ricarica. Vengono effettuati più step di ricarica (3) per una migliore efficienza della stessa.

I vantaggi di tale sistema sono:

- una stazione di ricarica semplice e compatta senza convertitore e quindi più economica
- una bassa richiesta di potenza dalla rete grazie ad un accumulo sulla stazione
- una minore quantità di accumulo a bordo dell'autobus con una riduzione dei pesi e dei costi.

I vantaggi di sopra riportati sono stati valutati sia in una prima fase di studio di fattibilità, successivamente in un prototipo in scala ridotta ed infine in un sistema di ricarica in scala reale su un Minibus elettrico.



# Ricarica contactless dinamica

I sistemi di ricarica statica senza contatto possono essere vantaggiosamente utilizzati per ricaricare gli accumulatori dei veicoli elettrici poiché offrono maggiore sicurezza e praticità dei sistemi di ricarica convenzionali basati su sistemi cablati con collegamento presa-spina. Il trasferimento di energia dalla stazione di ricarica avviene attraverso un accoppiamento di tipo induttivo tra un avvolgimento primario collocato a terra ed un avvolgimento secondario posto a bordo del veicolo. Una stazione di rifornimento elettrica senza contatto è composta essenzialmente da un sistema di conversione della potenza elettrica di rete che alimenta la bobina primaria alla frequenza di risonanza. Viceversa la bobina secondaria è collegata ad un altro sistema di conversione che trasferisce l'energia verso la batteria del veicolo.

L'interesse per il trasferimento di energia a media-alta potenza tra gli avvolgimenti posti a distanza relativamente elevata (10-15 cm) e non esattamente sovrapposte ha indirizzato la ricerca verso la realizzazione di sistemi di tipo risonante.

La condizione di risonanza migliora l'efficienza di trasferimento di energia e permette anche di controllare il parziale disallineamento tra gli avvolgimenti. I recenti orientamenti internazionali per la standardizzazione hanno indicato in 85 kHz la frequenza di lavoro in risonanza e fissato in tre livelli la potenza di ricarica: 3.7 kW, 7.7 kW e 22 kW.

La ricarica contactless per la sua flessibilità di impiego, oltre agli autoveicoli, è indicata nelle applicazioni di ricarica veloce per veicoli di trasporto pubblico nel contesto di una gestione

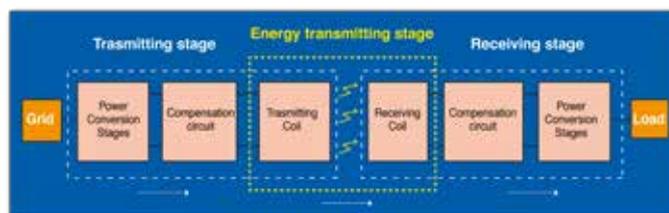
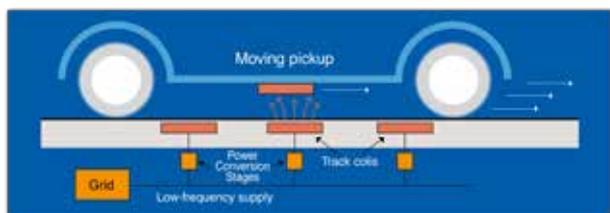
in linea della ricarica durante le soste al capolinea così come per la ricarica lenta in deposito.

Sulla base dello stesso principio di trasferimento induttivo è possibile trasferire energia anche durante il movimento del veicolo attraverso la realizzazione di un sistema basato su una serie di avvolgimenti primari, posizionati nel manto stradale, ed energizzati sequenzialmente al passaggio del veicolo per operare il passaggio di energia tra le bobine primarie e secondarie.

Nell'ambito delle attività inserite nella "Ricerca di Sistema Elettrico" l'ENEA si è impegnata su questi temi provvedendo a realizzare in collaborazione con l'Università di Padova:

- un sistema di ricarica contactless di bassa potenza (600 W) per la ricarica di un quadriciclo leggero ad alta efficienza di tipo risonante con impiego di tecnologia SiC con circuito risonante ad 85 kHz ;
- una sezione di un sistema di ricarica contactless dinamico da 3 kW a 85 kHz.

Congiuntamente allo sviluppo di sistemi di ricarica contactless ENEA ha provveduto ad analizzare l'esposizione ai campi elettromagnetici (EMF) residui emessi dal sistema di ricarica contactless per le persone operanti in prossimità sia dei sistemi statici che dinamici. A tal fine si è realizzato uno studio dosimetrico basandosi su un modello numerico del sistema di ricarica. La metodologia sviluppata ha carattere generale e può essere adattata anche a casi espositivi più complessi quali sistemi di ricarica per veicoli industriali, per il TPL o ricariche veloci.



# Recupero energetico mediante ultracapacitori

## per applicazioni industriali

L'Enea con la collaborazione delle Università partner di progetto ha realizzato una serie di attività teorico sperimentali sul recupero energetico da sistemi di trasporto passeggeri e di movimentazione merci, con particolare riferimento a Metropolitane, Funicolari e Carroponti.

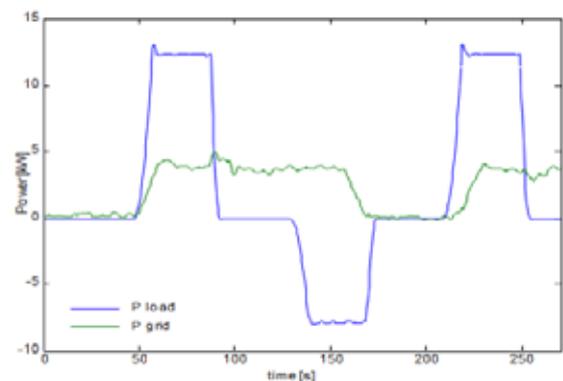
Tutti questi sistemi possono potenzialmente restituire parte di quella energia normalmente dissipata in calore o tramite resistenze elettriche durante le fasi di frenatura o di discesa per gravità. Tale energia può essere immagazzinata in batterie o supercondensatori per essere riutilizzata nelle fasi di richiesta energetica.

I supercondensatori sono un sistema di accumulo alternativo alle batterie, caratterizzati dal presentare una bassa energia

specifica a fronte però di una elevatissima potenza specifica; in condizioni normali è molto elevato anche il rendimento di carica/scarica e la vita del componente, che garantisce quindi prestazioni di lento degrado nel tempo.

Per l'applicazione al carroponte i supercondensatori si sono dimostrati un sistema di accumulo ideale perché in un ciclo di funzionamento (carico e scarico del materiale da movimentare) si rilevano grandi picchi di potenza in funzione di ridotte energie in transito.

Con i supercondensatori la rete deve fornire un quarto della potenza e un 60% dell'energia richieste in loro assenza, con un risparmio economico del 40%.



## per microcar

Nel corso degli anni sono state realizzate diverse esperienze nel settore dell'accumulo misto batterie/supercondensatori anche per microcar. Una classica batteria al piombo, di norma non in grado di recuperare efficientemente energia in decelerazione ed in frenata, se accoppiata ad un banco di supercondensatori, può migliorare di molto le sue caratteristiche. Test effettuati al banco a rulli hanno mostrato che l'autonomia di un veicolo dotato di tale sistema ibrido di accumulo può migliorare di oltre il 50%, mentre anche la vita utile delle batterie può essere raddoppiata grazie ad uno stress minore di quest'ultime che viene assorbito dai supercondensatori, molto più efficiente nell'erogare e recuperare potenza dalle ruote. La microcar di ENEA Urb-e, utilizzata come laboratorio anche per questo tipo di applicazioni, è stata utilizzata per sperimentare questo tipo di tecnologia sia in accoppiamento batterie al piombo + Supercondensatori, sia con le batterie al litio.

2

## Sviluppo di prototipi veicolari

# HIZEV

## Progettazione di sistemi di accumulo innovativi

Nell'ambito del progetto HIZEV di "Industria 2015", il partenariato guidato da Picchio e composto da medie, piccole e micro aziende, centri di ricerca e università, ha realizzato due veicoli ad alte prestazioni, uno ibrido Plugin ed uno elettrico.

Le due motorizzazioni, installate su telai identici derivati da prototipi nati per applicazioni "racing" della Picchio S.p.a., sono progettate per utilizzo stradale e sportivo.

La versione in elettrico, presentata ad ECOMONDO (8-11 novembre 2016) è a trazione integrale con l'avantreno motorizzato con un azionamento elettrico da 150 kW ed il retrotreno con due motori da 100 kW ciascuno e differenziale elettronico a controllo vettoriale.

Il sistema di accumulo è stato progettato da ENEA ed è costituito da celle Li-Ion ad alta potenza specifica da 24

kWh (autonomia in ciclo standard NEDC stimato di 180 km) posizionato centralmente nel retrotreno.

Il powertrain è stato installato su un prototipo progettato dalla PICCHIO per le corse in salita ed offre delle prestazioni da vera ipercar: una accelerazione da 0-100 stimabile tra i 3 ed i 3.5 secondi, con una velocità massima che può arrivare anche a 300 km/h, mentre se utilizzato in abito stradale l'autonomia è di circa 180 km.

Il prossimo traguardo che ci si appresta a raggiungere è l'iscrizione di questo veicolo ad eventi sportivi come gare in salita o in pista: la HIZEV elettrica si prefigura come la prima macchina elettrica in Italia (ma non solo) ad altissime prestazioni ad essere utilizzata in gara.

### veicolo ibrido

Trazione a 4 ruote motrici

Anteriore: motore elettrico da 150 kw

Posteriore: motore a combustione interna, 2000 cc turbocompresso da oltre 400 cv a 8000 rpm

Sistema di accumulo da 6 kWh: 400 V e 15 Ah tecnologia OCCL (Ossigeno, Carbonio, Cobalto, Litio), posizionato nelle pance laterali del veicolo

Autonomia: 30 km (in elettrico)

### veicolo elettrico

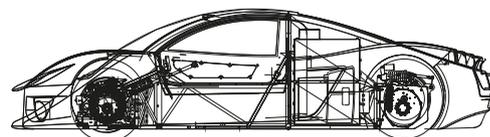
Trazione a 4 ruote motrici

Anteriore: motore elettrico da 150 kw

2 Motori elettrici posteriori da 100 kw ciascuno (differenziale a controllo vettoriale)

Sistema di accumulo da 24 kWh: 400 V e 62 Ah, tecnologia agli Ioni di Litio ad alte prestazioni, posizionato nella parte posteriore del veicolo

Autonomia: 180 km



# Microvetture

## Sviluppo di prototipi a trazione elettrico-ibrida

ENEA partecipa allo sviluppo di soluzione per l'elettromobilità attraverso la progettazione e/o la realizzazione di veicoli sperimentali da città in configurazione totalmente elettrica o ibrida. Queste micro vetture sono un banco di prova per testare soluzioni innovative nella componentistica e nella gestione della potenza del sistema complessivo accumulo-generatore- motore.

La Urb-elettrica, mezzo a trazione puramente elettrica, e la Spazia HPP (Hybrid Power Pack) sono due dei veicoli di piccola taglia che rappresentano l'impegno del Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo verso la realizzazione di veicoli a basso impatto ambientale. Il veicolo Urb-elettrica, concepito inizialmente come ibrido serie dotato di accumulo a supercondensatori, è stato utilizzato per lo sviluppo delle strategie di gestione del motogeneratore termico. In seguito il prototipo è stato utilizzato per mettere a punto altri tipi di motorizzazione, in particolare quella "elettrica pura", sia con batterie al litio, che con un sistema di accumulo ibrido batterie-supercondensatori. La funzione di laboratorio mobile che contraddistingue Urbe-elettrica è attualmente sfruttata per prove su sistemi di ricarica di tipo contactless sia statici che dinamici.

La Spazia-HPP è 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). Essa mostra l'adattabilità di una motorizzazione ibrida "parallela" ad un quadriciclo, con possibilità di marcia anche in elettrico puro e quindi a zero emissioni. La motorizzazione originale (diesel Lombardini) è stata integrata con una motorizzazione elettrica e una batteria Li-Io compatta e performante, realizzando un power-pack alloggiato tutto sotto il cofano, batteria compresa. Il prototipo può marciare in tre diverse modalità: convenzionale con il motore diesel, modalità "elettrica pura" o in modalità ibrida (con entrambi i motori). Grazie alla piccola taglia della batteria, il costo del veicolo è minore di quello di una microvetture "elettrica pura" (batteria di taglia almeno doppia); il costo aggiuntivo, rispetto ad una microvetture diesel, è molto ridotto, ma la flessibilità d'uso del mezzo molto maggiore, grazie alla possibilità di marcia a zero-emissioni.





3

## Software di supporto alla diffusione della mobilità elettrica

# Simulatore di scenari per la ricarica veloce di autovetture elettriche

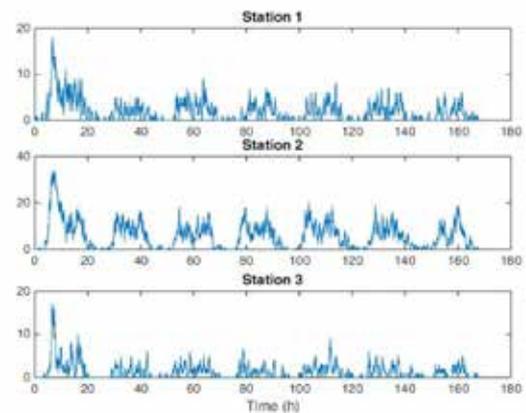
La disponibilità di un'infrastruttura di ricarica ritagliata sulle esigenze dell'utenza è un fattore determinante ai fini della diffusione della mobilità elettrica.

Lo studio effettuato ha lo scopo di definire degli scenari per l'utilizzo delle stazioni di ricarica in ambito urbano. Lo studio si è basato sull'analisi di una grande quantità di dati raccolti dalla compagnia privata OctoTelematics. L'utilizzo nello studio della mobilità di grandi raccolte di dati geo-referenziati (Big Data), rende possibile un approccio quantitativo innovativo al problema, permettendo la costruzione di modelli di simulazione più aderenti alla realtà. I dati riguardano gli spostamenti compiuti dai veicoli nella città metropolitana di Roma e coprono 6 giorni lavorativi (lunedì-sabato) del mese di Maggio 2013. Essi rappresentano un dato significativo dell'andamento del traffico urbano, coprendo circa il 6% del parco vetture circolante all'epoca del rilevamento.

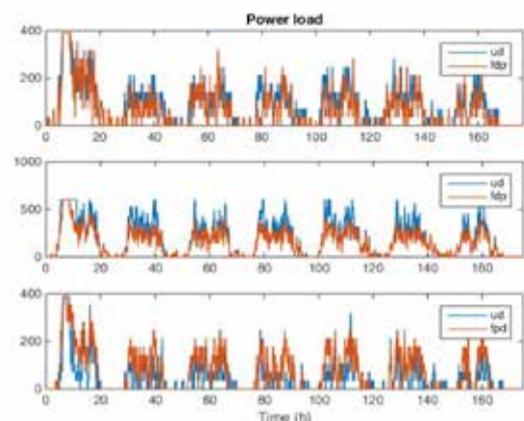
L'analisi del database ha permesso di determinare il numero di viaggi effettuati nel periodo di osservazione, le distanze coperte, la distribuzione geografica dei punti di arrivo. I dati sono stati quindi opportunamente filtrati, selezionando solo quelli compatibili con l'autonomia di un'auto elettrica media e focalizzando l'attenzione sui viaggi che avevano per destinazione una determinata area urbana di Roma. Nell'area si sono ipotizzate tre strutture di ricarica che potevano avere un diverso numero di punti di ricarica, a seconda dello scenario considerato. La scelta della struttura di ricarica è effettuata dall'utente, il cui comportamento è simulato attraverso un modello fuzzy che tiene conto dell'autonomia residua dell'auto, della distanza delle stazioni e dei tempi di attesa alle singole stazioni. Se ne ricava un profilo di affollamento temporale alle stazioni dal quale si possono dedurre informazioni importanti sull'utilizzo effettivo delle stazioni.

In particolare, analizzando le curve reali di richiesta di potenza in ricarica veloce per un'auto media, è stato possibile ricostruire anche il profilo di impegno elettrico in funzione del tempo alle stazioni.

È stata inoltre condotta un'analisi di sensitività per i parametri del sistema simulato. In particolare, è stato verificato che un modello decisionale in cui si tenga conto dei consumi alle stazioni di ricarica (quindi un modello in cui sia il fornitore del servizio ad indirizzare l'utenza alle proprie stazioni) può portare a livelli di servizio ancora migliori.



Distribuzione degli utenti alle stazioni di ricarica in un dato scenario in funzione del tempo



Confronto tra il carico di potenza alle stazioni per lo scenario User-Driven (UD) e Fuzzy Provider-Driven (FPD)

# Software per l'elettificazione del Trasporto Pubblico urbano

I servizi di trasporto pubblico urbano rappresentano un ambito di elezione per testare soluzioni di alimentazione elettrica autonoma, prestandosi ad una più affidabile progettazione del sistema veicoli-infrastruttura di ricarica rispetto a quanto non sia possibile fare per il trasporto privato, soggetto ad una maggiore aleatorietà di utilizzo dei mezzi.

Ma per un Operatore non è facile orientarsi nella scelta fra le diverse soluzioni tecnologiche già ora disponibili: veicoli predisposti alla sola ricarica notturna al deposito, o con possibilità di effettuare "biberonage" di qualche minuto durante le soste al capolinea o, addirittura, in grado di accettare flash di ricarica anche ad alcune fermate intermedie. In considerazione di tale oggettiva complessità, nell'ambito delle attività per la Ricerca di Sistema elettrico (triennio 2015-2017), ENEA ed i suoi partner universitari hanno sviluppato una suite di applicazioni software, integrate fra loro, con l'obiettivo di offrire un supporto alle Aziende del TPL interessate ad integrare autobus elettrici nella propria flotta.

La catena modellistica messa a punto è in grado di indicare se un servizio urbano di linea sia tecnicamente elettrificabile e per quali soluzioni di ricarica fra quelle precedentemente elencate; inoltre valuta se l'elettificazione sia conveniente rispetto ad un rinnovo della flotta operato con veicoli di

tipo più convenzionale. Il confronto economico considera tutte le più importanti voci di investimento e di esercizio e, separatamente, i costi esterni delle emissioni locali, di quelle globali e del rumore. Per ciascuna soluzione tecnologica esaminata, il modello ipotizza determinati standard che, pur rappresentando solo un'idealizzazione della reale offerta di mercato, costituiscono un'approssimazione sufficiente per un'analisi di fattibilità.

Il principio che presiede al processo di valutazione informatizzato è che l'acquisto di una flotta di autobus elettrici deve essere pensato per ben precise missioni di servizio, di cui è necessario stimare innanzitutto i consumi energetici, tenendo conto di tutti i fattori che li determinano. ENEA ha avviato un serrato confronto con l'Associazione ASSTRA e le Aziende del Trasporto Pubblico Locale da essa rappresentate per una validazione "sul campo" del modello di stima dei consumi energetici.

Inoltre negli ultimi due anni di ricerca, ENEA e i suoi partner universitari hanno lavorato affinché i risultati delle analisi per singole linee potessero essere utilizzati anche ai fini di un'analisi di rete, tale da considerare, all'interno del confronto dei costi, anche possibili economie di scala nelle installazioni di ricarica.



# eMU eMobility simUlation

Il simulatore è stato ideato e realizzato con il proposito di fornire un nuovo strumento di ausilio alla pianificazione e progettazione degli interventi infrastrutturali e tecnologici atti a garantire una rapida ed efficiente transizione verso la mobilità elettrica.

Il simulatore è stato concepito come piattaforma modellistica integrata capace:

- di replicare gli spostamenti giornalieri dei veicoli all'interno di un'area urbana;
- di riprodurre l'interazione della domanda di energia con l'offerta costituita dalla rete di punti di ricarica;
- di stimare l'andamento dei profili giornalieri di potenza e consumo di energia richiesti per soddisfare le diverse esigenze di mobilità;
- di valutare eventuali rischi di locale sovraccarico della rete di distribuzione in corrispondenza dei picchi di domanda del settore residenziale.

La simulazione è basata su un approccio a microscala atto a rappresentare il comportamento degli individui (automobilisti/veicoli) e a riprodurre l'intera sequenza di spostamenti, soste e ricariche effettuata dai veicoli stessi in un determinato periodo di tempo (giorno, settimana, mese) nell'area di applicazione.

La simulazione a microscala consente, inoltre, di supportare lo studio di fattibilità di soluzioni impiantistiche che prevedono

stazioni di ricarica alimentate da pannelli fotovoltaici collegati a sistemi di accumulo.

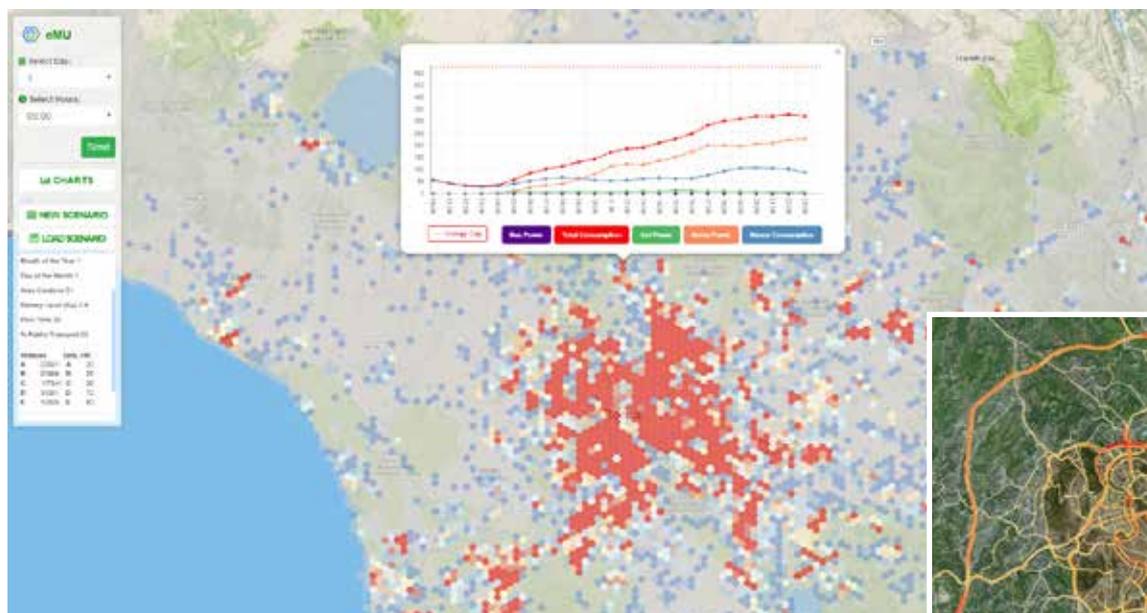
L'ambiente di simulazione è concepito per essere accessibile via WEB da remoto ed include una suite di modelli in grado di quantificare e stimare l'andamento dei consumi elettrici associati a predefiniti scenari di mobilità elettrica urbana con una elevata granularità spaziale e temporale.

Il simulatore incorpora anche modelli di analisi della mobilità multimodale per lo studio di interventi di installazione o potenziamento delle infrastrutture di ricarica nell'ambito di parcheggi di scambio in prossimità di stazioni o fermate del trasporto pubblico.

Il sistema di modelli è stato costruito e calibrato utilizzando dati e informazioni sull'assetto insediativo e territoriale, sugli aspetti socio-economici, sulle condizioni climatiche e meteo, sugli spostamenti e sulle soste effettuate da un consistente campione di veicoli privati e dal programma di esercizio del parco autobus per il TPL.

Il simulatore è stato verificato e testato assumendo come caso di studio l'area metropolitana di Roma.

La ricerca è stata svolta congiuntamente dal laboratorio "DTE-PCU-STMA" dell'ENEA con la collaborazione delle Università partner di progetto.



Interfaccia utente del simulatore



Dipartimento Tecnologie Energetiche

Divisione Produzione, Conversione e Uso efficiente dell'energia

Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo

Referenti: Carlo Liberto - [carlo.liberto@enea.it](mailto:carlo.liberto@enea.it) e Gaetano Valenti - [gaetano.valenti@enea.it](mailto:gaetano.valenti@enea.it)

**4**

## **Prove di laboratorio e in reali condizioni di esercizio**

# Studi sull'invecchiamento e utilizzo in second life delle batterie

Le batterie di nuova generazione, in particolare quelle al Litio, vengono utilizzate per applicazioni che vanno dall'alimentazione di un cellulare a quella dei veicoli elettrici. È meno noto però che esse possano essere utilizzate come sistema di accumulo nelle reti elettriche, in particolare in quelle dove è rilevante la presenza di generatori alimentati da fonti rinnovabili. La presenza di batterie nella rete elettrica permette di assorbire l'eccesso di potenza/energia prodotta dalle fonti rinnovabili caricando le batterie, per poi restituirla al momento del bisogno.

I sistemi di accumulo per le reti elettriche o quelli domestici possono essere realizzati con batterie nuove, ma c'è anche la possibilità di riutilizzare quelle provenienti dai veicoli elettrici o ibridi, che hanno perso la capacità energetica richiesta per garantire l'autonomia del veicolo ma possiedono ancora una grande capacità residua, adatta per applicazioni stazionarie, in questo caso si parla di batterie utilizzate in 'Second Life'. Dato il costo dei grandi sistemi di accumulo per le reti elettriche ed anche quello delle batterie utilizzate in autotrazione, occorre disporre di strumenti che permettano di predire la durata di vita delle stesse nelle particolari

applicazioni considerate: per la natura stessa delle batterie questa previsione è affetta da una grande incertezza e lo è ancor di più per le batterie utilizzate in 'Second Life'.

L'Enea ha pertanto sviluppato delle procedure di test su batterie nuove o utilizzate in Second Life, strutturandole in modo da poter evidenziare, per la chimica in esame, l'effetto dei singoli fattori di stress (profondità di scarica, corrente di scarica continuativa e di picco, temperatura) sulla vita delle batterie. Nel contempo ha sviluppato uno studio sugli indicatori che possano permettere di determinare la 'salute' della batteria mentre sta operando su cicli reali e un ulteriore studio sulla caratterizzazione di cicli reali che permettano di determinare i fattori di stress a cui è sottoposta la batteria nella sua vita operativa.

Lo scopo finale di queste attività è di giungere ad avere a disposizione gli strumenti di previsione della vita della batteria su una determinata applicazione, per poter stabilire un dimensionamento del pacco batterie che ottimizzi i costi in funzione della vita prevista e quello di verificare sul campo lo stato di salute di tutto il sistema di accumulo, per esempio per poterne sostituire una parte degradata e permetterne il prolungamento della vita operativa e la gestione in sicurezza.



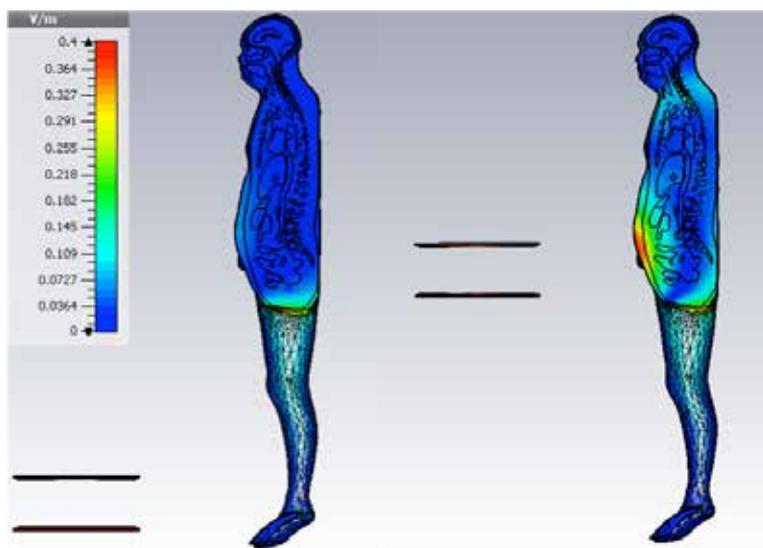
# Impatti della mobilità elettrica: emissioni elettromagnetiche dei sistemi di ricarica per autoveicoli elettrici

Il consolidamento della rete di infrastrutture di ricarica pubblica (e privata) per i veicoli elettrici e il maggiore utilizzo di sistemi di ricarica rapida e ultrarapida pongono il problema delle potenziali esposizioni della popolazione alle emissioni elettromagnetiche, dovute alla concentrazione di numerose colonnine di ricarica, in stazioni strutturate in modo simile alle attuali stazioni di servizio. La valutazione dell'esposizione a questa tipologia di sorgente è di fondamentale importanza quando si progettano stazioni di ricarica, se infatti le emissioni superassero i valori limite stabiliti dalla normative vigenti, sarebbe necessario provvedere a degli interventi di zonizzazione delle sorgenti, in modo da delimitare delle aree di rispetto a cui vietare l'accesso agli utenti. Lo stesso problema si pone anche quando la ricarica dei veicoli elettrici è affidata a sistemi meno convenzionali, ma che hanno ottime prospettive commerciali, quali la ricarica senza contatto.

In ENEA si sono messe a punto strumentazione e procedure di misura per la valutazione dell'esposizione della popolazione ai campi magnetici ed elettromagnetici emessi dai sistemi di ricarica convenzionale e senza contatto. Tali procedure sono state utilizzate per la caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche di una reale stazione di ricarica veloce (22 kW in DC) e di un sistema per la ricarica senza contatto in commercio negli Stati Uniti.

Dal punto di vista sperimentale il laboratorio è dotato di una camera anecoica per prove di emissione in condizioni di riferimento, della strumentazione di misura nella banda 0 Hz, 8 GHz e di un codice di calcolo per simulazioni elettromagnetiche.

Queste attività sono finanziate dalla Ricerca di Sistema Elettrico del Ministero dello Sviluppo Economico.



# Sicurezza di esercizio delle batterie

Le tecnologie di accumulo dell'energia per via elettrochimica utilizzano reazioni chimiche di ossidoriduzione per accumulare energia ed erogarla in forma di corrente elettrica. Queste tecnologie hanno permesso di costruire le sempre più diffuse batterie ricaricabili Litio-ione impiegate nei nostri cellulari, nei PC portatili, nei tablet e negli e-book, nelle sigarette elettroniche. Batterie che hanno una estrema versatilità costruttiva, una elevata capacità di accumulare energia per unità di peso (densità di energia), potenti e longeve. Unitamente ai sistemi basati sull'impiego di reazioni elettrochimiche che vedono il Sodio come vettore energetico (batterie Sodio-Zolfo e batterie Sodio-Cloruri metallici), le batterie Li-ione stanno trovando applicazione anche nella realizzazione dei cosiddetti sistemi di accumulo stazionario utilizzati nelle Smart-Grid per l'accumulo e la redistribuzione dell'energia prodotta con fonti alternative.

Le batterie sono sigillate e possono apparire come "scatole magiche", ma, in determinate condizioni, possono accadere eventi incidentali che possono provocare dei danni. Una batteria brulica di vita: elettroni e materia in movimento. Queste possono reagire tra loro anche in modi non desiderati. È dal 2012 che l'ENEA (Laboratorio DTE PCU STMA insieme alla Squadra di Pronto Intervento del CR Casaccia) indaga su questi fenomeni in un'ottica di prevenzione delle perdite (Loss Prevention), o rischi. In particolare si stanno indagando: le condizioni di abuso in cui tali batterie possono esplodere e/o incendiarsi, l'analisi del perchè ciò accada; quali sono i sistemi

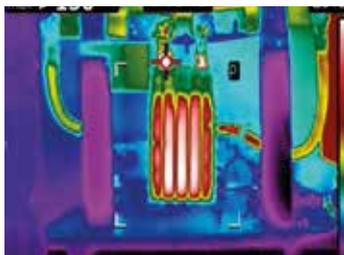
migliori per prevenire tali rischi; quali sostanze si sviluppano in caso di incidente; come gestire un incidente e quali mezzi estinguenti utilizzare nel caso in cui si sviluppi un incendio. Naturalmente, le batterie sono tutte dotate di dispositivi di protezione ridondanti e la loro gestione in sicurezza è ulteriormente assicurata dal BMS (Battery Management System).

Dal punto di vista sperimentale, il laboratorio è dotato di una camera climatica per prove di abuso e di un campo prove all'aperto dove si stanno conducendo prove di abuso e partecipazione al fuoco e si stanno collaudando diversi sistemi di estinzione. Il Campo Prove, impianto FARO, è il primo in Italia e uno dei pochi in Europa.

Tra gli obiettivi dell'ENEA sono: messa a punto procedure di prova e procedure di intervento in caso di incidente; fornitura di informazioni necessarie a chi realizza i locali di accumulo o di ricarica dei veicoli elettrici, contributo alla normazione di questi settori.

Le attività sono finanziate dalla Ricerca di Sistema Elettrico del Ministero dello Sviluppo Economico.

La sicurezza e la prevenzione dei rischi di incendio ed esplosione di sistemi di accumulo è l'obiettivo dell'Accordo di collaborazione tecnico-scientifica tra Vigili del Fuoco ed ENEA. L'Agenzia contribuisce a tale Accordo con i ricercatori del "Laboratorio di Sistemi e Tecnologie per la MOBilità e l'Accumulo", l'impianto FARO e gli esperti antincendio del Centro di Ricerca della Casaccia (Roma).



Dipartimento Tecnologie Energetiche  
Divisione Produzione, Conversione e Uso efficiente dell'energia  
Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo  
Referenti: Cinzia Di Bari - [cinzia.dibari@enea.it](mailto:cinzia.dibari@enea.it)

# Testing su banco a rulli e su strada di veicoli a basso impatto ambientale

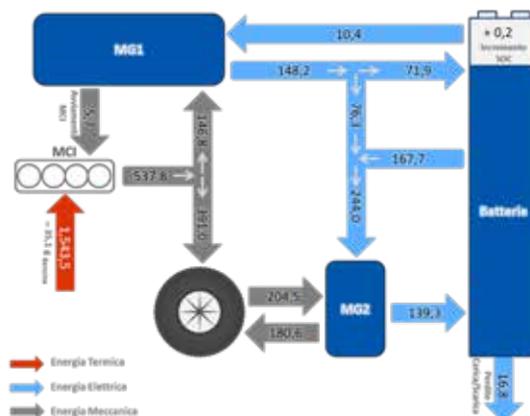
Lo sviluppo e la sperimentazione di veicoli elettrici rappresenta una delle attività più importanti oggi nel settore automotive ed anche per l'ENEA. Sperimentazioni sulla ricarica rapida di tali veicoli e il suo impatto non solo sulla vita delle batterie, ma anche sulla rete elettrica sono state oggetto di studio e di caratterizzazione. Test su strada ed al banco a rulli sono stati realizzati anche con il Joint Research Centre della Commissione europea dove è stato valutato il reale comportamento energetico di tali veicoli sia su cicli di riferimento (WLTC) sia su strada monitorando tutti i parametri elettrici relativi alla trazione.



L'utilizzo di powertrain ibridi porta sempre a riduzioni di consumi, ma alle basse velocità (ambiente urbano) i vantaggi sono più elevati. Tutto questo grazie al sottosistema elettrico in grado di recuperare energia durante la decelerazione e la frenata, ma anche grazie al fatto che il motore a combustione interna può funzionare nelle sue migliori condizioni di consumo, in quanto l'energia recuperata in frenata può essere erogata nelle accelerazioni. Anche l'inquinamento urbano si riduce in quanto tali veicoli possono muoversi in modalità solo elettrica per una frazione molto alta del tempo (anche più del 50%).



- I vantaggi ottenuti sono stati analizzati e catalogati in base alle differenze tecnologiche tra un veicolo convenzionale e un ibrido.
- Aumento dell'efficienza del motore termico, dovuta ad un motore più efficiente (a ciclo Atkinson) e ad una sua migliore gestione grazie al sottosistema elettrico. -25g/km di combustibile
- Funzione Stop&Start . - 4g/km di combustibile
- Recupero dell'energia in Frenata. -4 g/km di combustibile



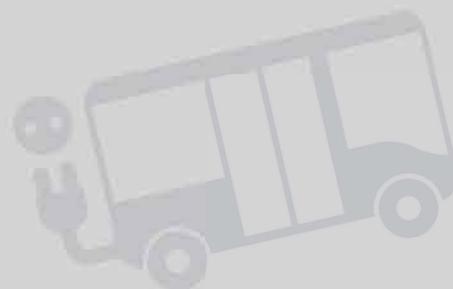


AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



*Ministero dello Sviluppo Economico*

Rel Prom - dicembre 2018



**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. Antonino Genovese