

# **IL POTENZIALE IMPATTO DELLA MOBILITA' ELETTRICA SUL SISTEMA ENERGETICO ED ELETTRICO REGIONALE**

## **Risultati Preliminari**

*Forte di Bard 27/06/2014*

*Prof. Alessandro Pini Prato  
Dott. Ing. Matteo Repetto*

## Chi siamo e che ruolo abbiamo nell'ambito del Progetto

### Raggruppamento Temporaneo di Imprese:



-NCN New Companies Nurse S.r.l – Roma – Capofila

Società di trading tecnologico;

SI.RE.

-Consorzio Si.Re. – Savona

Laboratorio misto Università Industria per la Simulazione numerica e la Realtà virtuale;



-Elettrogreen Power S.r.l – Genova

Società operante nel mercato dell'energia elettrica e nel settore dell'efficiamento energetico;



-MAVEL S.r.l. – Pont St. Martin

Industria specializzata nella produzione di macchine elettriche ad alta velocità ed elettronica di potenza avanzata.

Supporto scientifico alla Regione Autonoma Valle d'Aosta  
per il Progetto **AlpStore**



## Ruolo della e-mobility nel contesto territoriale

- Mobilità più sostenibile in contesti intensamente antropizzati e/o protetti
- Contenimento dei consumi di energia primaria e miglioramento del bilancio della CO<sub>2</sub>
- Nuove produzioni ad alta tecnologia

## Effetti collaterali da analizzare

- Incremento dei carichi elettrici stocastici prevalentemente sulle reti di bassa tensione;
- Effetti sulla distorsione del diagramma di carico delle sottostazioni M.T. / B.T.
- Impatto sui consumi di materie prime (rame, terre rare, litio...)
- Impatto sui processi di riciclo dei materiali
- Impatto economico – finanziario per la collettività
- Impatto occupazionale

## L'automobile nasce elettrica

1899 – Camille de Jenatzy, con la «Jamais Contente» supera i 100 km/h



1902 – Ferdinand Porsche realizza «Semper vivus», il primo veicolo ibrido al mondo, dotato di motoruote.

*Il Drive-train elettrico viene abbandonato a favore di quello termico a partire dai primi anni del '900.*

## Vincoli fisici della e-mobility

- Il serbatoio di un veicolo elettrico può immagazzinare da qualche kWh a qualche decina (da **150 a 700 kJ/kg** in funzione della tecnologia dell'accumulo)
- Il serbatoio di un veicolo termico contiene agevolmente **parecchie centinaia di kWh** (per i combustibili liquidi circa **40.000 kJ/kg**)
- Le normali potenze di ripristino della carica di un veicolo termico sono dell'ordine di **decine di MW**.
- Le potenze accettate nella carica degli accumulatori elettrochimici **non sono comparabili**



- Autonomia **10 volte inferiore** per il veicolo elettrico
- **Dipendenza** cruciale dalle **infrastrutture**
- Tempi di **indisponibilità per biberonaggio** da 50 a 500 volte più lunghi

## Attività svolte nell'ambito Alp Store

E' stato possibile acquisire dati sperimentali sul funzionamento di alcuni veicoli elettrici, grazie al progetto Revè Gran Paradis.

Il progetto ha consentito di acquisire grandezze elettriche ed energetiche su una mini flotta di veicoli monitorati, circolanti sul territorio valdostano.



## L'approccio simulativo

L'utilizzo di strumenti di simulazione numerica, **validati** su un sufficiente numero di **tests sperimentali** permette di apprezzare la **sensibilità alle diverse variabili** e ai molteplici parametri di un sistema complesso.

A parità di altre condizioni possono essere **paragonati i comportamenti di vari veicoli sulla stessa missione** o dello **stesso veicolo su missioni diverse**.

In fase di progetto ciò consente di ottimizzare il **dimensionamento dei componenti** in funzione di obiettivi definiti (prestazioni, emissioni, efficienza...) e di individuare le **logiche e gli algoritmi di controllo** più robusti ed efficaci quando esistano vari sottosistemi cooperanti.

## Il Modello

E' stato utilizzato un modello numerico di simulazione dinamico realizzato in ambiente Matlab-Simulink e denominato VECTRA.

Il modello consente di ricostruire il bilancio energetico del *powertrain*, simulando il funzionamento su missioni reali di veicoli termici, elettrici, oltre a topologie di vario grado e forma di ibridizzazione.

Il simulatore tiene conto, attraverso un opportuno pre-processor, delle caratteristiche del veicolo a partire dalle principali informazioni costruttive e dalle caratteristiche dei componenti installati a bordo.

I sottosistemi sono rappresentati attraverso adeguate matrici funzionali;

La missione può essere assegnata sotto forma di procedure standard (ECE 15, ecc...), oppure di percorsi reali monitorati mediante GPS o altra strumentazione;

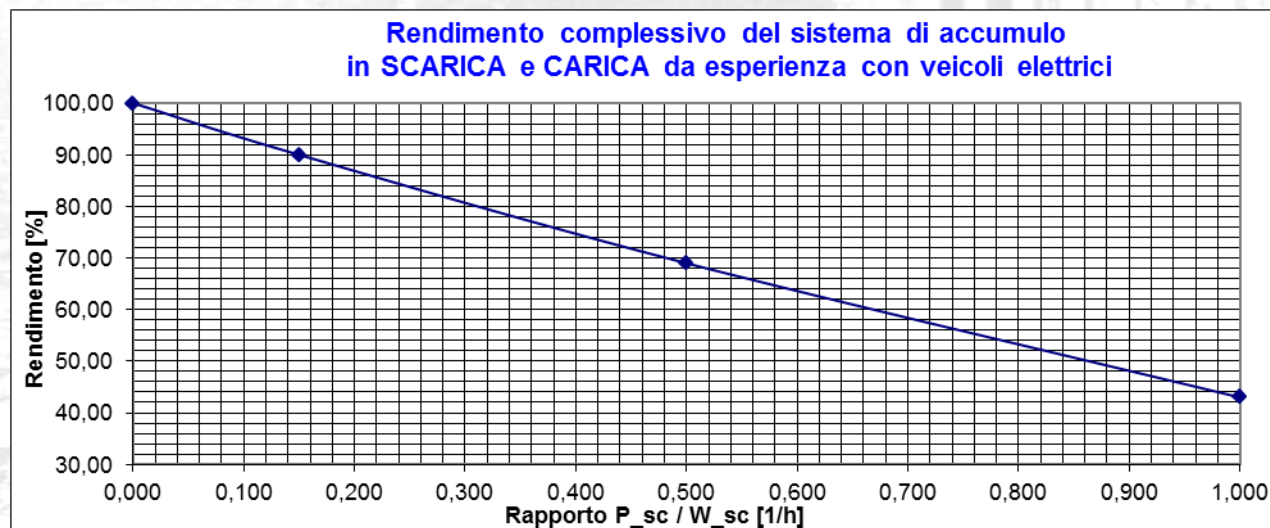
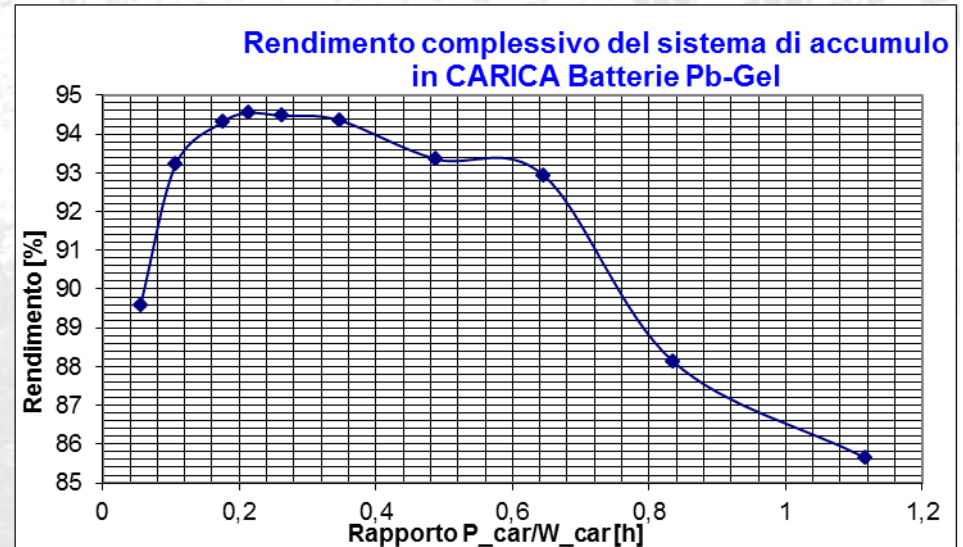
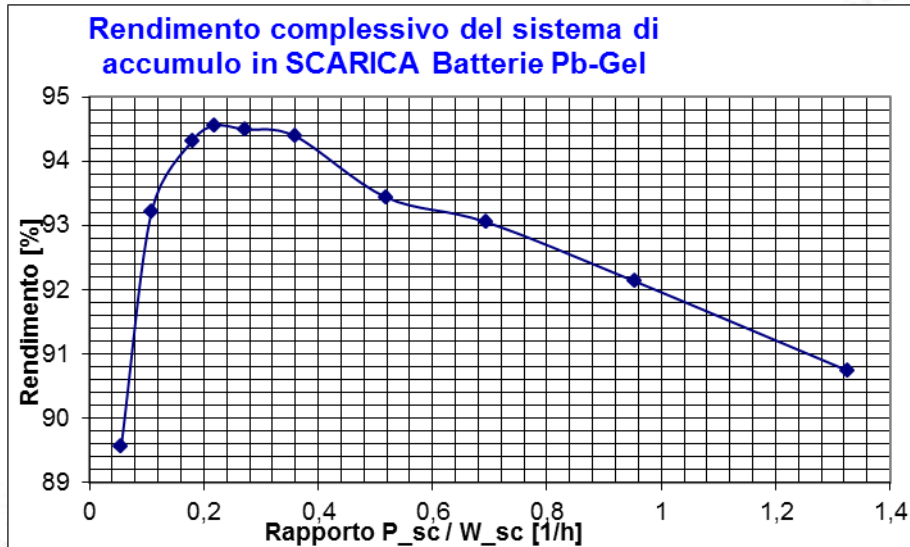
Diverse logiche e algoritmi di controllo possono essere forniti per i vari sottosistemi in caso di necessità.



# Il Modello

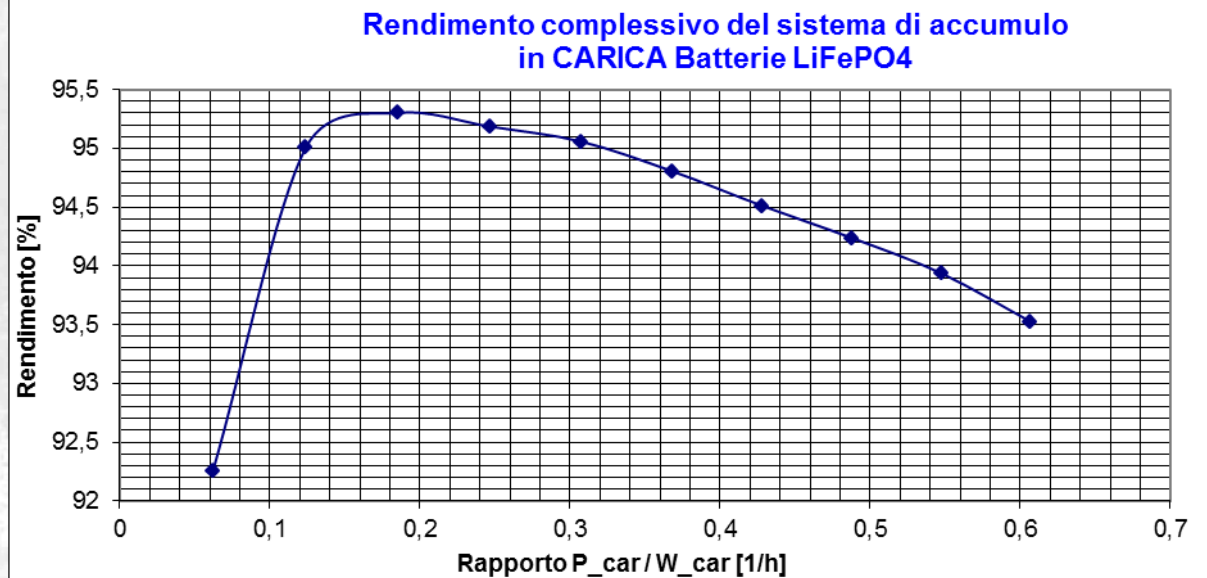
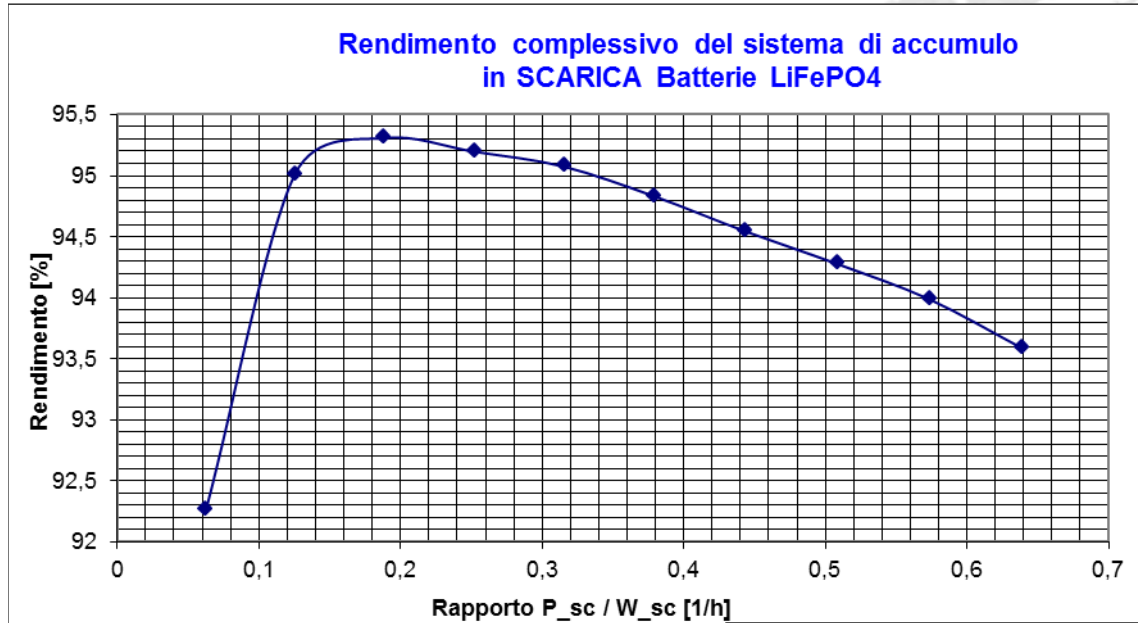
I sottosistemi sono rappresentati attraverso adeguate matrici funzionali

Ad esempio, per le caratteristiche di batteria sono state utilizzate le seguenti curve, rispettivamente ricavate da letteratura e validate su veicolo per la tecnologia al piombo.



# Il Modello

Possono essere simulate altre tecnologie come il Litio Ioni o Litio Ferro Fosfati.



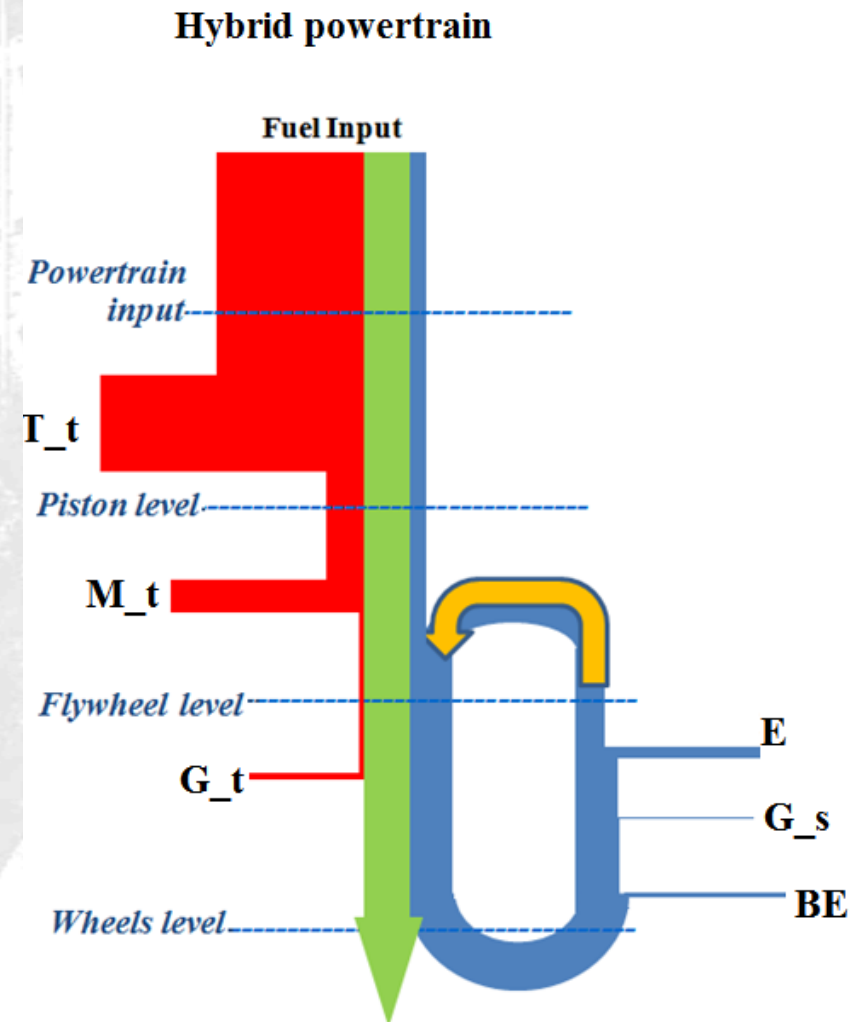
## Il Modello

Il post processor del codice fornisce storie, integrali, elaborazioni e immagini relative alle diverse grandezze.

Il modello consente di analizzare, quantificare e visualizzare i flussi energetici che si realizzano nel *powertrain* del veicolo.

A partire dalla resistenza al moto, vengono calcolate le potenze entranti e uscenti da tutti i componenti del *powertrain*, tenendo conto delle mappe comportamentali di ciascuno di essi, dalle ruote allo storage.

*Il simulatore è stato validato su numerosi casi sperimentali*



*Diagramma di Sankey per un ibrido parallelo.*

## La campagna di simulazione

Sono state condotte campagne di simulazione su due tipologie di veicolo elettrico ed uno termico, utilizzando tre differenti profili di missione.

Veicoli elettrici simulati:

	<b>Kangoo 1,5 dCi</b>	<b>Kangoo Z.E.</b>	<b>Twizy</b>
Massa a vuoto [kg]	1280	1450	550
Capacità [kWh]	580	25	7
Potenza [kW]	66	44	8



### Twizy:

*Esempio di microveicolo elettrico*

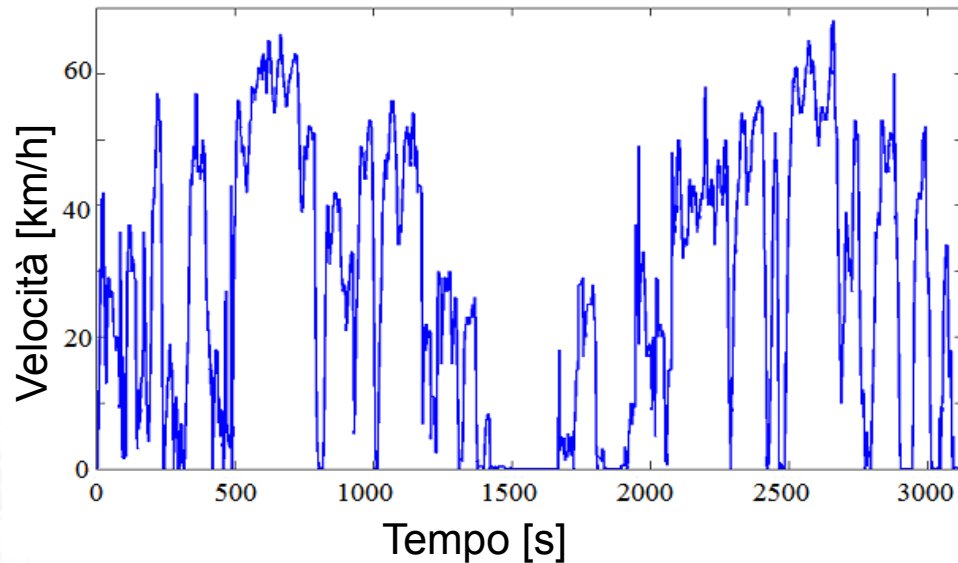
### Kangoo:

*Veicolo utilizzato nell'ambito del progetto Rève V.d.A. su cui si hanno dati sperimentali a disposizione*



## Descrizione della campagna di simulazione

Sono state acquisite sperimentalmente numerosi profili di missione reali utilizzando strumentazione GPS a bordo veicolo.



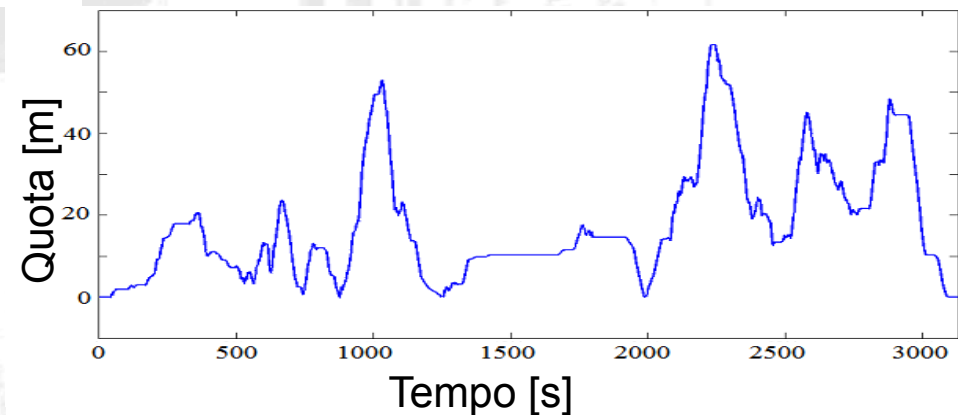
Il **profilo di missione urbano**, rappresentativo della marcia in condizione di traffico cittadino presenta le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza: 22 km
- Velocità media: 19 km/h
- Velocità Massima: 68 km/h
- Dislivello: 250 m

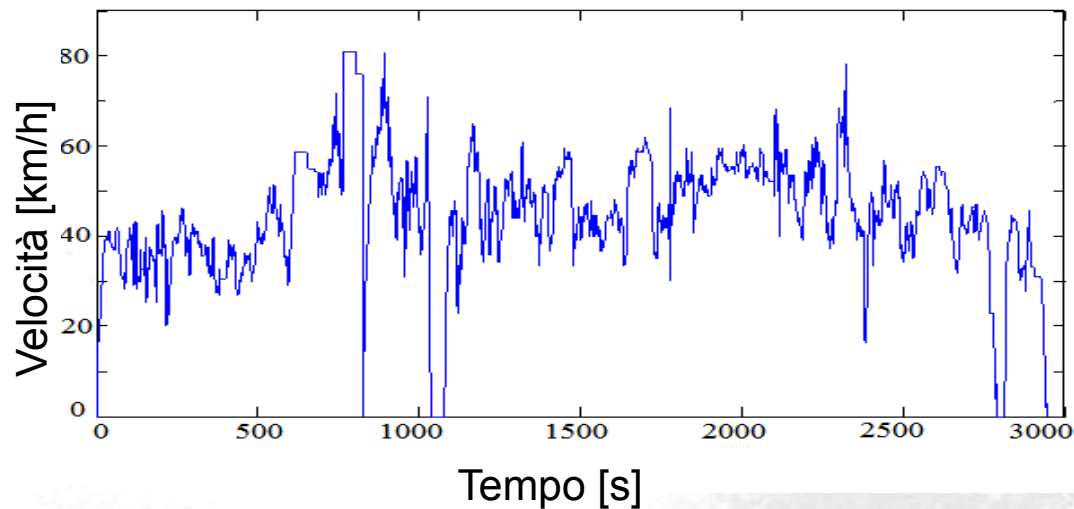
Grado di retrocessione:

Twizy: 0,53

Kangoo: 0,57



## Descrizione della campagna di simulazione



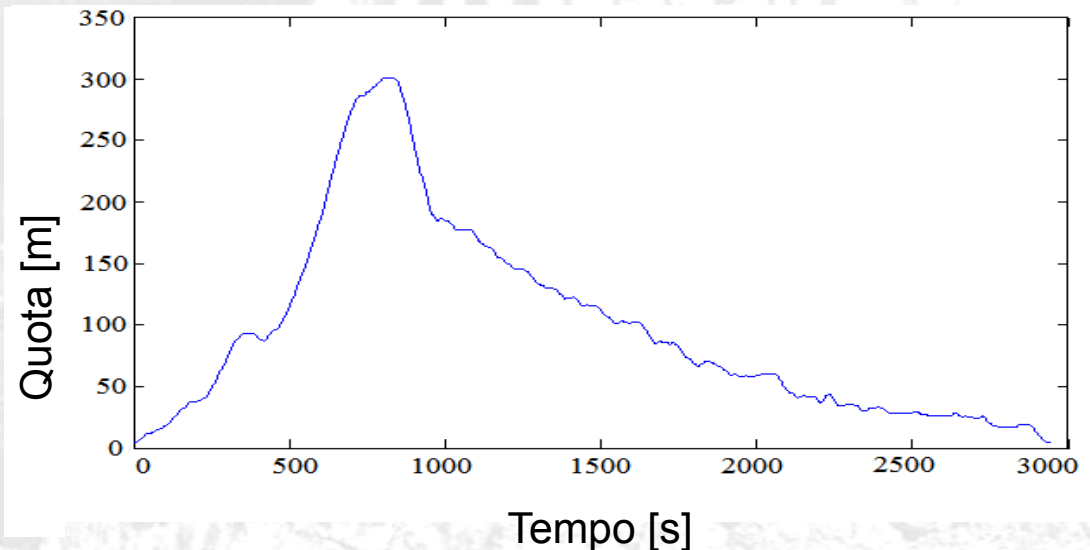
Il **profilo di missione extraurbano**, rappresentativo della marcia su strade provinciali (esempio fondovalle) con attraversamento di centri abitati, presenta le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza: 36 km
- Velocità media: 45 km/h
- Velocità Massima: 81 km/h
- Dislivello: 400 m

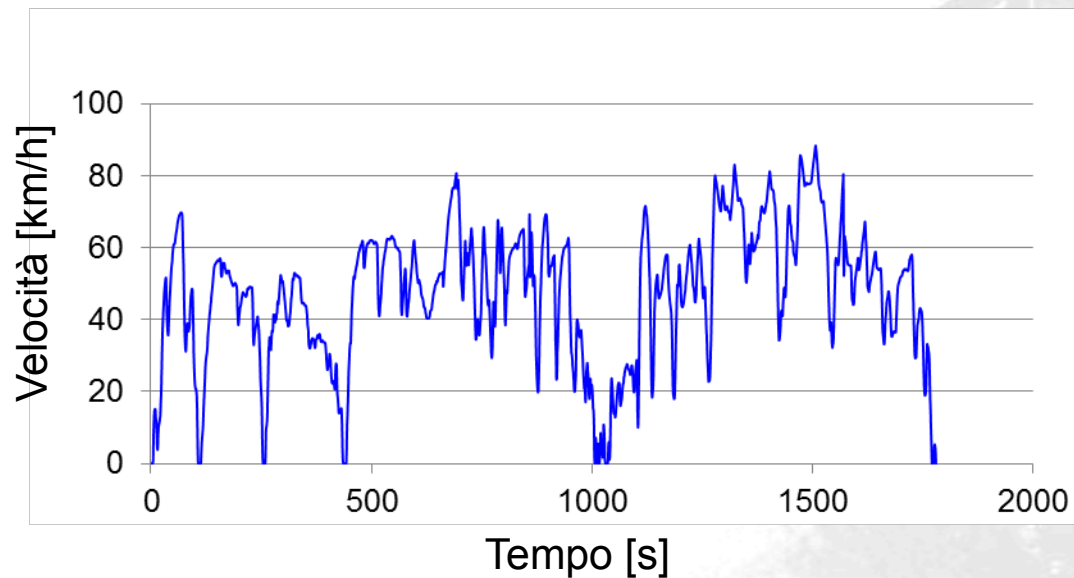
Grado di retrocessione:

Twizy: 0,52

Kangoo: 0,56



## Descrizione della campagna di simulazione



Il **profilo di missione montano**, rappresentativo della marcia su strade caratterizzate da forti dislivelli (esempio valli laterali), presenta le seguenti caratteristiche:

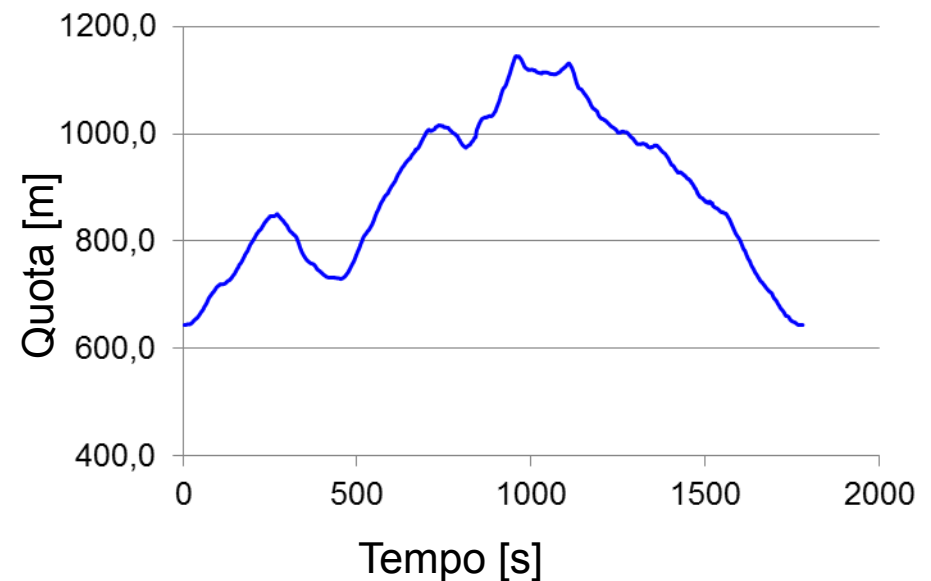
- Lunghezza: 23 km
- Velocità media: 47 km/h
- Velocità massima: 84 km/h
- Dislivello: 750 m

*Il profilo è stato elaborato a partire dalle acquisizioni effettuate nell'ambito del Progetto Rève VdA.*

Grado di retrocessione:

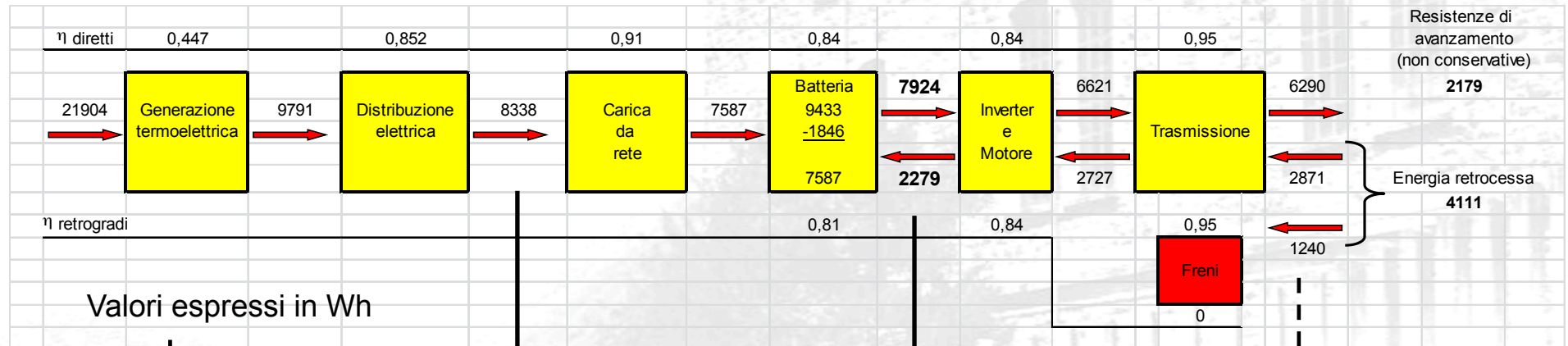
Twizy: 0,62

Kangoo: 0,65



# Analisi Energetica

Powertrain elettrico con grandezze simulate:



Valori espressi in Wh

**Vettore primario**

**Sistema termoelettrico**

Consumi rete

**Catena a bordo veicolo**

Misure RÈVe

**Utilizzo finale**

Rappresentazione grafica della catena energetica del veicolo elettrico

Si evidenzia il percorso dell'energia dal vettore primario alla strada.



## Confronto veicoli

Missione urbana	Renault Kangoo 1.5 dCi	Renault Kangoo ZE	Renault Twizy
	Energia primaria [Wh/km]	636	529
Rendimento catena	0,086	0,104	0,115
Rendimento catena a bordo	0,086	0,274	0,303
Consumo (cons. equivalente per V.E.) [km/l]	15,5	19,9	48,5
Emissione CO <sub>2</sub> [g/km]	172	111	43

A parità di veicolo, la catena di trazione elettrica permette:

Riduzione di richiesta energia primaria: 97 kWh/kg (-15%)

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 61 g/km (-35%)

L'utilizzo di un micro-veicolo elettrico in sostituzione di uno tradizionale termico permette:

Riduzione di richiesta energia primaria: 432 kWh/kg (-68%)

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 129 g/km (-75%)

## Confronto veicoli

<b>Missione extraurbana</b>	<u>Renault Kangoo 1.5 dCi</u>	<u>Renault Kangoo ZE</u>	<u>Renault Twizy</u>
Energia primaria [Wh/km]	554	561	220
Rendimento catena	0,102	0,101	0,104
Rendimento catena a bordo	0,102	0,266	0,274
Consumo (cons. equivalente per V.E.) [km/l]	17,8	17,6	44,9
Emissione CO <sub>2</sub> [g/km]	150	117	46

A parità di veicolo, la catena di trazione elettrica permette:

Richiesta di energia primaria sostanzialmente invariata

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 33 g/km (-22%)

L'utilizzo di un micro-veicolo elettrico in sostituzione di uno tradizionale termico permette:

Riduzione di richiesta energia primaria: 334 kWh/kg (-60%)

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 104 g/km (-69%)

## Confronto veicoli

Missione montana	Renault Kangoo 1.5 dCi	Renault Kangoo ZE	Renault Twizy
	Energia primaria [Wh/km]	714	777
Rendimento catena	0,133	0,118	0,121
Rendimento catena a bordo	0,133	0,311	0,318
Consumo (cons. equivalente per V.E.) [km/l]	13,8	12,7	23,4
Emissione CO <sub>2</sub> [g/km]	193	163	89

A parità di veicolo, la catena di trazione elettrica comporta:

Richiesta di energia primaria aumentata di: 63 g (+9%)

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 30 g/km (-16%)

L'utilizzo di un micro-veicolo elettrico in sostituzione di uno tradizionale termico permette:

Riduzione di richiesta energia primaria: 309 kWh/kg (-43%)

Riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>: 104 g/km (-54%)

## Confronto prestazioni medie

Considerando una missione media costituita dalla combinazione delle varie tipologie di percorso, ad esempio 40% urbano, 40% extraurbano e 20% montano, che caratterizzi l'intera vita del veicolo, è possibile confrontare le tre tipologie analizzate.

	Renault Kangoo 1.5 dCi		Renault Kangoo ZE		Renault Twizy	
Energia primaria [Wh/km]	619	1	591	0,96	251	0,40
Emissione CO2 [g/km]	167	1	124	0,74	53	0,32
Consumo elettrico [Wh/km]	0		225	1	95	0,42

Se il percorso è particolarmente influenzato dalle missioni montane, come nel caso del Progetto RÈVe, ove circa la metà delle missioni aveva caratteristiche montane, si può evidenziare un buon allineamento tra i valori simulati e quelli sperimentalmente rilevati.

La differenza tra l'energia elettrica consumata dal propulsore e quella generata dallo stesso nelle fasi di rilascio ammonta infatti, per le simulazioni, mediamente a 180 Wh/km, valore coerente con quello misurato nel Progetto.

## Il nostro punto di vista sul mercato della e-mobility

Se il **mercato** del veicolo elettrico fosse **quello dell'uso privato** come pura alternativa alle soluzioni tradizionali termiche o ibride, esso non potrebbe eludere le **richieste dell'utente/proprietario**:

- 1- **prestazioni e confort paragonabili;**
- 2- **condizioni di sicurezza equivalenti;**
- 3- **appeal estetico competitivo**
- 4- **uguale disponibilità di esercizio.**



## Il nostro punto di vista sul mercato della e-mobility

Ciò comporta:

- Tara **10 volte maggiore** del «carico pagante» medio;
- Coefficiente di uso intorno al **5%**;
- Costi tendenziali** del km percorso **non inferiori** alle alternative sostituite.

Ma quanti privati potrebbero accettare le enormi limitazioni dovute ai vincoli fisici prima richiamati ad un costo globale analogo?

***Non ci sembra questa la «killer application» della tecnologia nonostante che i prototipi e i primi prodotti presentati dai costruttori appaiano perseguire tale opzione.***

## Il mercato drogato dagli incentivi

Come per i convertitori ad energia rinnovabile, la soluzione può apparire quella di rendere competitivo il prodotto attraverso contributi o incentivi gravanti in vario modo sulla collettività.

Questa soluzione ha mostrato i propri limiti perfino nel caso di tecnologie che non risalivano alla fine del 1800; **le domande** che si pongono sono:

- «quanto»?
- «per quanto tempo»?
- «con quale costo futuro per la collettività»?

Ma ancor **più importante è la domanda:**

- «nascondendo la non competitività di una soluzione, si indirizza la progettazione verso soluzioni realmente di mercato»?

***La «killer application» della trazione elettrica è un'altra!***

## Il mercato della e-mobility

La **trazione elettrica su gomma** può essere vista come parte di una **infrastruttura intermodale** di interesse pubblico (ancorché gestita privatamente e senza incentivi) destinata a perseguire la bonifica ambientale delle aree urbane altamente antropizzate o di zone severamente protette.

In questo quadro il **ruolo del veicolo** deve essere **ripensato completamente** nel suo *conceptual design*, adeguandolo quanto più possibile ai suoi intrinseci limiti fisici.

### Cosa verrà richiesto?

- Prestazioni limitate alle missioni da assolvere;
- Massima semplicità realizzativa;
- Tara non superiore a 3 – 4 volte il «carico pagante» medio;
- Massima standardizzazione per il contenimento dei costi;
- Miglioramento del coefficiente di utilizzo attraverso lo *sharing*.



## Il mercato della e-mobility

Un veicolo che soddisfa tali requisiti presenta:

- Modeste necessità energetiche;
- Potenze di biberonaggio contenute;
- Riduzione dei consumi di materie prime strategiche;
- Riduzione dei costi globali del km percorso;
- Infrastrutture leggere e localizzate;
- Controllo remoto delle flotte e del relativo recovery;
- Adeguata organizzazione del servizio e del quadro contrattuale.



## Il mercato della e-mobility

### Richiede

- **Parcheggi di interscambio** limitrofi alle zone interessate o alle stazioni dei servizi pubblici;
- **Colonnine di biberonaggio** con magliatura opportuna nelle zone interessate;
- Applicazione di **tecnologie ICT, GPS,...** per la corretta **gestione del servizio.**
- Applicazione graduale ed estensiva di **limitazioni al traffico termico** nelle zone di interesse da parte delle P.P.A.A. coerentemente con l'obiettivo di **bonificare l'ambiente nelle aree interessate.**

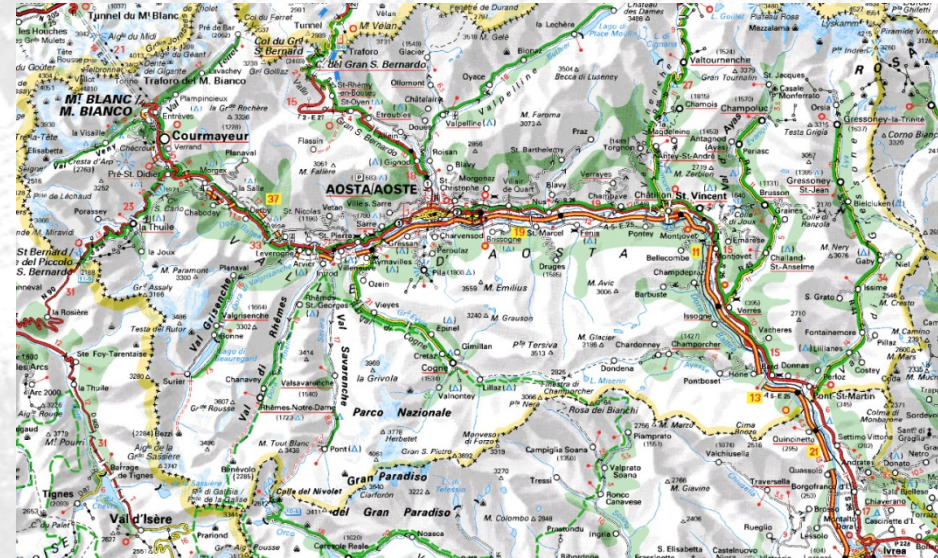


## Il potenziale regionale

I km percorsi dai veicoli termici nell'ambito regionale ammontano complessivamente a circa **5.000.000 di km/giorno**, di cui circa **4.000.000** effettuati dai **residenti** nell'ambito del territorio regionale.



Nell'area urbana di Aosta e nelle zone limitrofe, si stimano percorsi da **200.000 a 500.000 km/giorno**, a seconda della delimitazione più o meno ampia dell'area presa in esame.



## Il potenziale regionale

Se le limitazioni al traffico termico, con le dovute eccezioni, giungessero, a regime, a coinvolgere il 50% dei km percorsi nell' area vasta comprendente il Comune, le diramazioni sulla S.S. 26 ed alcuni percorsi montani:

- la CO<sub>2</sub> evitata utilizzando in *sharing* i piccoli veicoli elettrici dello scenario presentato, sarebbe pari a circa **20-50 t/giorno**, ovvero **7000-18000 t/anno**, pari al **1,2 - 2,8%** del totale emesso dai trasporti su gomma in Regione.
- L' aumento dei carichi di rete in bassa tensione sarebbe, a regime, di circa 20 MWh/giorno, pari a circa 7 GWh/anno, corrispondenti allo **0,8%** degli attuali consumi elettrici regionali.
- La diffusione **a regime** dei veicoli necessari nell' ambito regionale sarebbe di **circa 3000 - 5000 veicoli in *sharing***, con un costo tendenziale del km pari a 0,2 € (circa la metà di un veicolo termico) escluse le infrastrutture.

Va notato che il potenziale regionale è adeguato dal punto di vista tecnologico per la presenza di Società di distribuzione e di aziende detentrici di tecnologie avanzate nel *drive train* e nelle applicazioni ICT.

## Il potenziale regionale

Le simulazioni numeriche delle catene energetiche stazionarie che il nostro raggruppamento sta effettuando, considerando i carichi elettrici addizionali costituiti dai veicoli, serviranno a valutare se la penetrazione massiccia della *e-mobility*, come potrebbe verificarsi nello scenario ipotizzato, possa provocare un effetto distorsivo del diagramma di carico delle sottostazioni MT/BT e ad apprezzarne l'ampiezza.

A questo possibile problema potranno rispondere gli *smarts nodes* dotati di accumuli stazionari gestiti in modo opportuno.

Non è un caso che il focus del Progetto **Alp Store** integri l'analisi del ruolo degli *storage* mobili e stazionari nel sistema energetico regionale.

## Conclusioni

L'**obiettivo** di ridurre drasticamente i km termici percorsi sul territorio in ambiti fortemente antropizzati o protetti, ottenendo dalle tecnologie oggi disponibili i risultati ambientali ed energetici più significativi, implica un **cambiamento radicale dell'approccio alla e-mobility**.

Il **focus** dev'essere ricentrato sulla **logistica** e lo sviluppo urbanistico del territorio e **sull'integrazione dei diversi sistemi possibili di mobilità** a disposizione dei cittadini.

I **protagonisti** di questa rivoluzione culturale devono essere le **Pubbliche Amministrazioni**, con il ruolo di promuovere investimenti privati nei servizi di **mobilità intermodale**, non con incentivi onerosi per la collettività, ma attraverso l'individuazione di opportunità e vincoli normativi che rendano nel loro insieme competitivi i Progetti.

## Conclusioni

**Il veicolo**, ed in particolare il *drive-train*, che merita tutta l'attenzione dei tecnologi per la minimizzazione dei costi e degli effetti collaterali derivanti dalla diffusione massiccia della *e-mobility*, sta a questo scenario come il «carrello del supermercato» sta al servizio della grande distribuzione, o il «telefono cellulare» alla comunicazione di massa.

**Il ruolo dei progettisti di sistema** dei distributori elettrici e dei gestori del trasporto pubblico sarà dominante nell'individuazione delle aree di possibile reale sviluppo della *e-mobility*.

**La tecnologia del veicolo deve seguire**, consapevole dei limiti fisici che fino ad oggi nessun investimento è stato in grado di rimuovere e di cui non si vede il superamento, almeno nel futuro che interessa l'orizzonte della pianificazione.