



Accordo di Programma MSE-ENEA



RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto 3.5: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Obiettivo B: Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).

S. Grillo*, V. Musolino*, G. Pede**, L. Piegari*, E. Tironi*.

*POLITECNICO DI MILANO

**ENEA

Roma, 19 settembre 2011

- A** Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system).
- B** Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).
- C** Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida.
- D** Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette
- E** Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi
- F** Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici
- G** Sviluppo delle tecnologie di giunzione: tecnologie di saldatura a basso apporto termico ed eventuali elementi di accoppiamento per la realizzazione di forme complesse ed il collegamento a strutture primarie di tipo tradizionale.
- H** Comunicazione e diffusione dei risultati

G

Veicoli su Strada

Generalmente dotati di un motore a combustione interna come fonte di energia primaria



Veicoli su rotaia

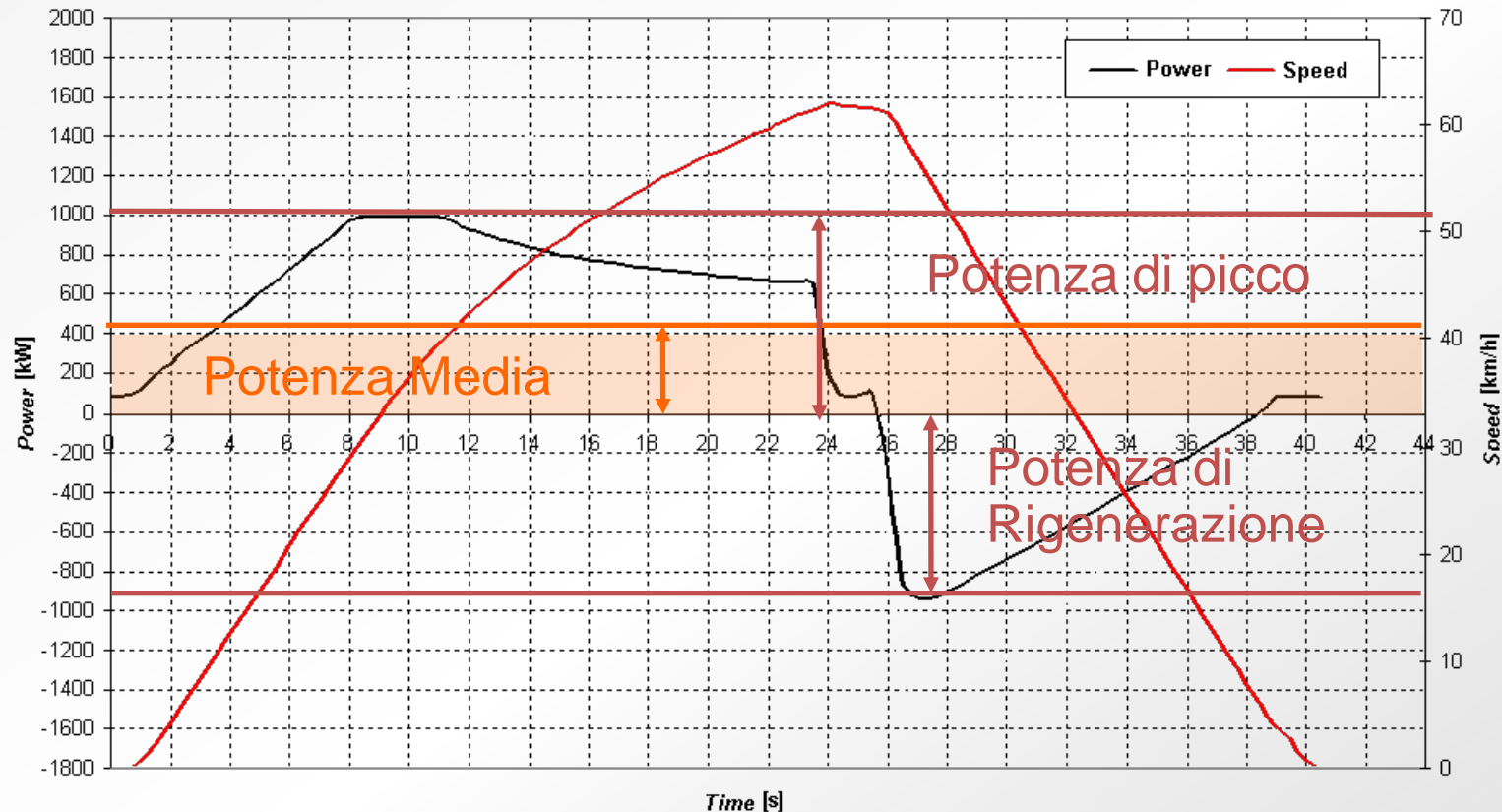
Generalmente alimentati dalla rete elettrica



La trazione veicolare: Specifiche

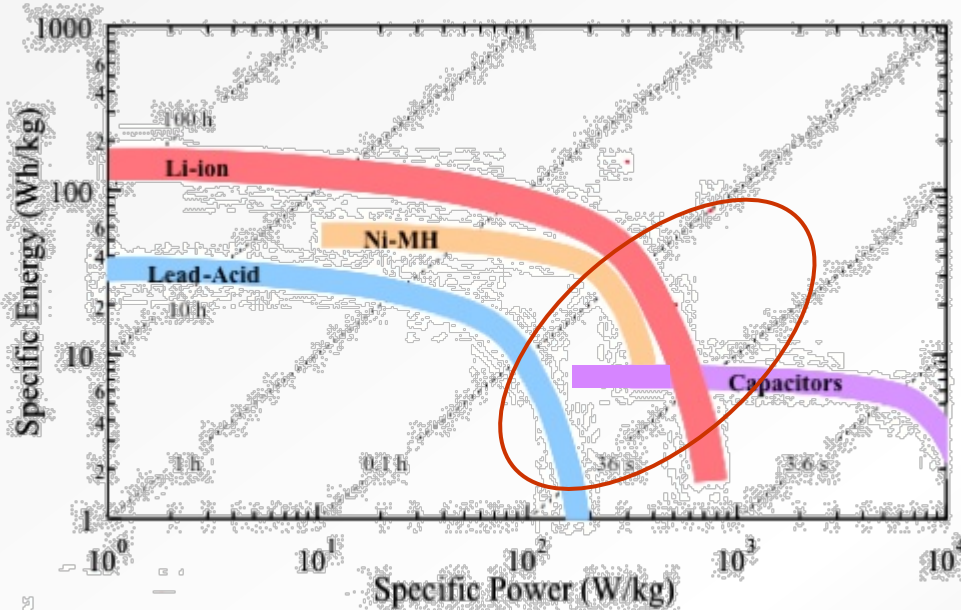
Parameter	Pure Electric		Hybrid		Plug-in	
	Minimum Goals	Long Term Goal	Minimum Goals	Long Term Goal	High Power/Energy Ratio Battery	High Energy/Power Ratio Battery
Power Discharge	80 kW	80 kW	25 kW (10 s)	40 kW (10 s)	45 kW (10 s)	38 kW (10 s)
Power Regeneration	40 kW	40 kW	20 kW (10 s)	35 kW (10 s)	30 kW (10 s)	25 kW (10 s)
Available energy	40 kWh	40 kWh	0.3 kWh	0.5 kWh	3.4 kWh	11.6 kWh
Calendar Life	10 years	10 years	15 years	15 years	15 years	15 years
Cycle life	1000, 80% DOD	1000, 80% DOD	300k 25Wh cycle	300k 50Wh cycle	-	-
Operating Environment	-40 to +50	-40 to +85	-30 to +52	-30 to +52	-30 to +52	-30 to +52
Production price	< 6000 \$ 25k units/year	4000 \$ 25k units/year	500 \$ 100k units/year	800 \$ 100k units/year	1700 \$ 100k units/year	3400 \$ 100k units/year

2006 Progress Report for Energy Storage Research and Development, U.S. Department of Energy Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies.



La sorgente di energia deputata all'erogazione di potenza è interessata da diverse dinamiche.

Non vi è un'unica grandezza che caratterizza il ciclo



Nelle condizioni di dinamica comprese tra una **decina** e un **centinaio** di secondi non vi è nessun dispositivo elettrochimico capace di adempiere completamente la missione.

CRITICITA' NEL DOMINIO IN ESAME:

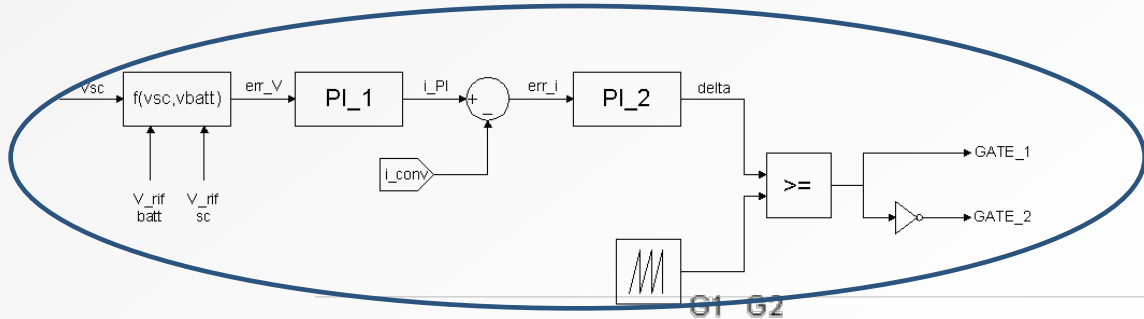
- Efficienza
- Termica
- Affidabilità
- Tempo di vita atteso

VALUTAZIONE DELLE
OPPORTUNITA' OFFERTE
DAGLI ACCUMULI IBRIDI

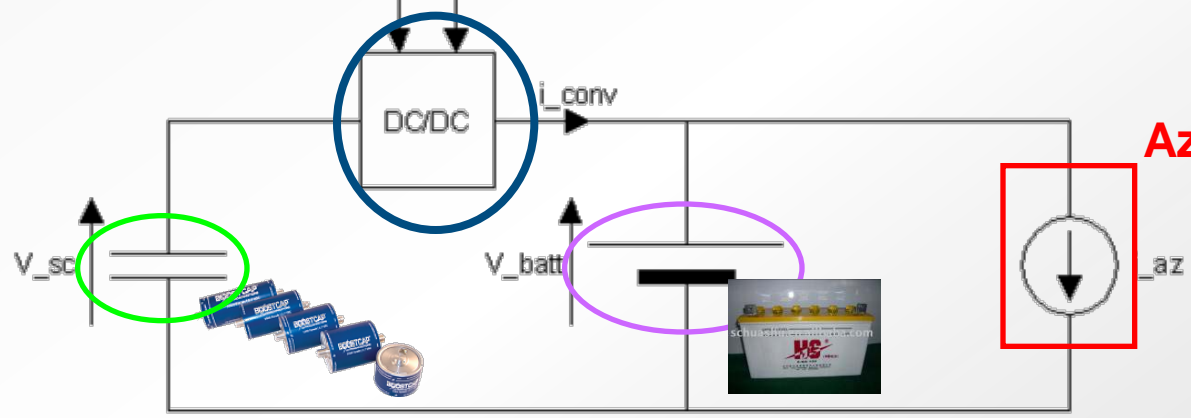
- ◆ Disponibilità di una accurata modellistica degli accumuli in esame in termini di dinamica ed efficienza
- ◆ Conoscenza dei meccanismi di invecchiamento in termini qualitativi e quantitativi
- ◆ Sviluppo di adeguate strategie di controllo e integrazione

CASO DI STUDIO

- ◆ Applicazione veicolare di trazione puramente elettrica
- ◆ Accoppiamento di batterie al Piombo ad un accumulo innovativo a Supercondensatori

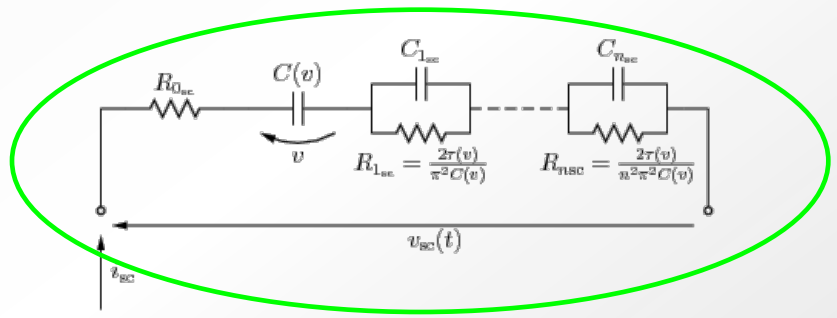


Logica che massimizza il rendimento dell'intero sistema di accumulo

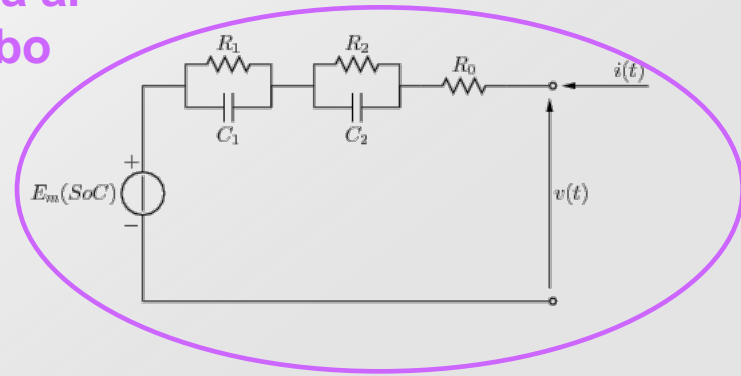


Azionamento

Supercondensatore



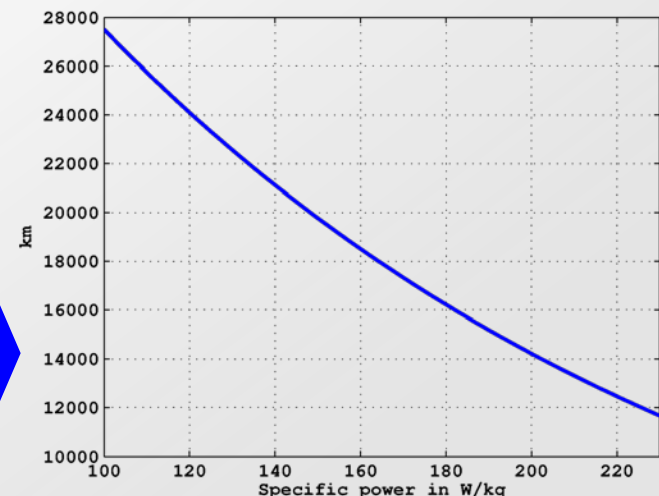
Batteria al piombo



- ◆ Mancanza di una adeguata modellistica “elettrotecnica” capace di quantificare il fenomeno dell’invecchiamento
- ◆ Ausilio di prove sperimentali direttamente eseguite in campo. Riferimento alla pubblicazione: “**High Power Lead-Acid Battery for Heavy-Duty HEV, On the Road and Laboratory Performance and Reliability**”, M.Conte, G.Pede, V.Sglavo, D.Gostoli, G.Mantovani, D.Macerata (ENEA, ALTRA-IRISBUS, CRF)

Battery reference number	Testing period (year)	System weight (kg)	System volume (liters)	System voltage (V)	Rated Capacity C ₅ (Ah)	Rated Energy @C ₅ (kWh)
EU3	1999	107.3	33.3	108	26.0	2.7
AL1	2001	219.6	89.1	108	70.0	7.6

Correlazione sperimentale tra vita chilometrica attesa e modalità di utilizzo in termini di densità di potenza



- ◆ Riferimento a cicli standard di omologazione (NEDC)

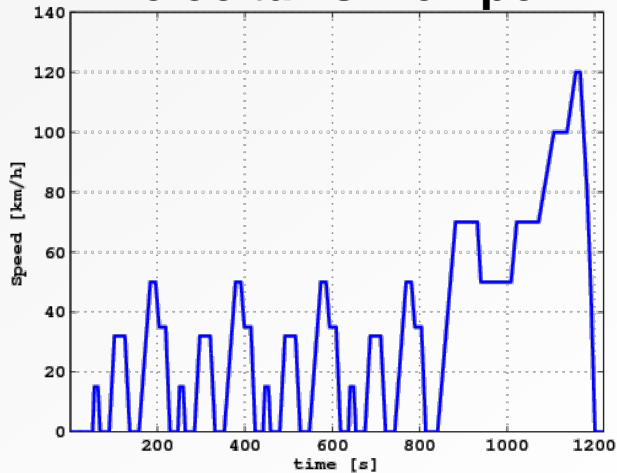


OBIETTIVO

- ◆ Quantificare il beneficio tecnico economico derivante dall'aggiunta del sistema di accumulo di potenza al sistema di accumulo di energia al fine di aumentare la vita attesa dell'accumulo di energia stesso (Batterie al Piombo):

$$\frac{\text{Autonomia iniziale} + \Delta \text{km}}{\text{Costo iniziale} + \Delta \text{Costo}} \geq \frac{\text{Autonomia iniziale}}{\text{Costo iniziale}} \Rightarrow \frac{y1 + \Delta y}{c1 + \Delta c} \geq \frac{y1}{c1}$$

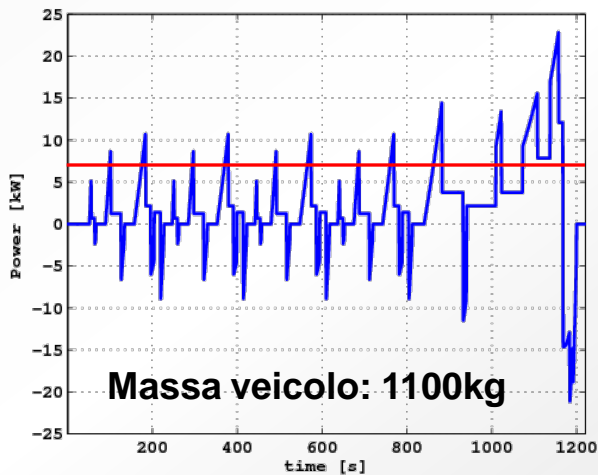
Velocità vs. Tempo



Ciclo di riferimento: NEDC

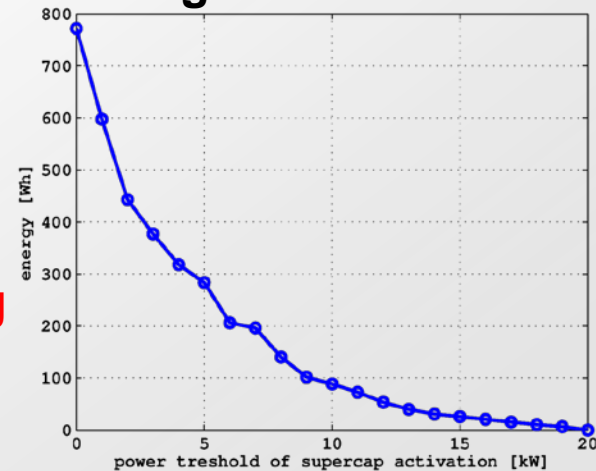
	NEDC
lunghezza [km]	10,93
energia totale [Wh]	1214
energia richiesta [Wh]	919,9
energia recuperata [Wh]	293,8
consumo [Wh/km]	84,16

Potenza vs. Tempo

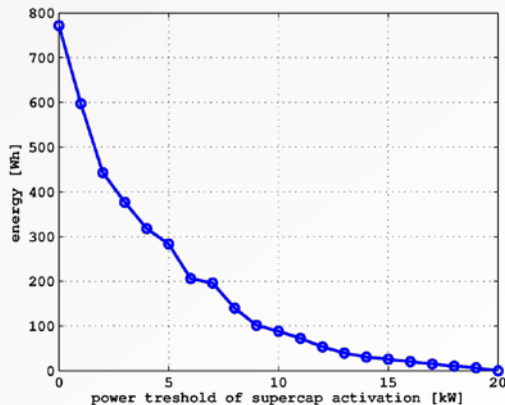


←
**Soglia di
Peak Shaving**

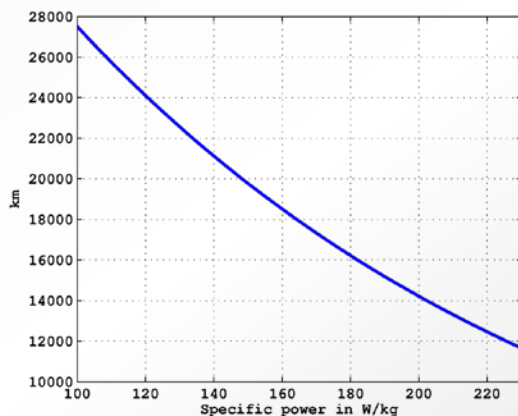
Energia da immagazzinare nell'accumulo Supercondensatori vs. Soglia di Peak Shaving



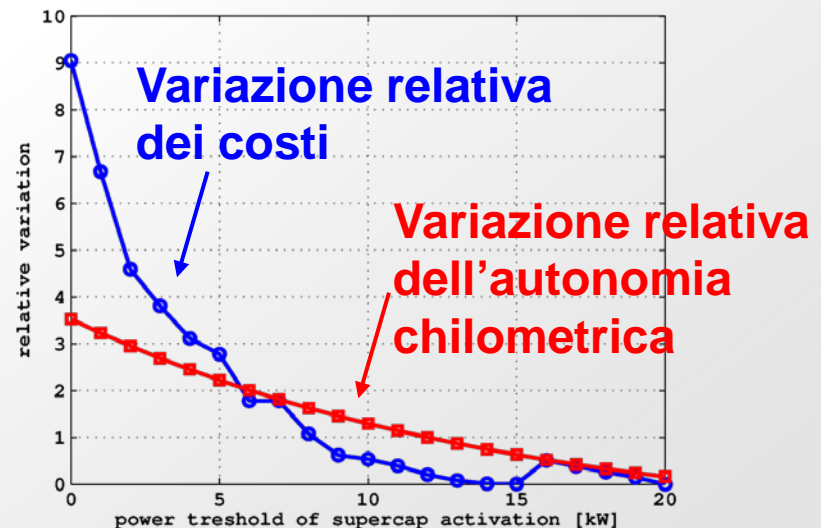
Energia da immagazzinare nei Supercap vs. Soglia di Peak-Shaving



Vita chilometrica attesa vs. Densità di Potenza di utilizzo



Variazione relativa dei costi e dell'autonomia vs. la Soglia di Peak-Shaving



costo supercondensatori	€/Wh	30
costo convertitore	€/W	0.1
costo batterie al Piombo	€/kWh	200

- ◆ Punti di massima profittabilità ottenuti per:
 - Taglia Supercap pari a 7 kW e accumulo a Supercondensatori pari a 40 Wh
 - Taglia Supercappari a 11 kW e accumulo a Supercondensatori pari a 100 Wh

Taglia supercondensatori	Costo supercondensatori	Aumento km percorsi Δy	Totale km percorsi con un pacco batterie $(y_1 + \Delta y)$	Sostituzioni pacco batterie in 70000 km	Costo totale batterie in 70000 km	Costo totale sistema di accumulo	Costo chilometrico totale
	€	km	km		€	€	€/km
40 Wh – 7 kW	1900	9600	21600	3	6000	7900	0.11
100 Wh – 11 kW	4100	17400	29400	2.4	4800	8900	0.13
Solo pacco batterie 10 kWh (€ 2000)				5.8	11600		0.17

- ◆ Nell'intero tempo di vita del sistema non si prevede di sostituire il sistema di accumulo a supercondensatori
- ◆ Il minore costo chilometrico del sistema ibrido è legato a un allungamento della vita media dell'accumulo elettrochimico stesso e, conseguentemente ad un minor numero di sostituzione del pacco batteria nel tempo di vita atteso dell'intero sistema di trazione
- ◆ Il risparmio economico atteso è dell'ordine del 35% nell'arco di vita del sistema di trazione

- ◆ L'accumulo ibrido beneficia di una ottimizzazione delle performance in termini sia di prestazioni che di vita attesa
- ◆ La possibilità di adottare il criterio metodologico esposto consente di quantificare a priori il dimensionamento dei due sistemi di accumulo e i benefici attesi
- ◆ Si rende indispensabile una campagna di prove sperimentali atta alla realizzazione di modelli o stimatori dell'invecchiamento di altre tecnologie di accumulo elettrochimico di interesse, quali gli accumuli al litio
- ◆ Una verifica sperimentale della metodologia proposta è di sicuro interesse a diverse applicazioni industriali, non solo in campo veicolare.



Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto 3.5: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

S. Grillo*, V. Musolino*, G. Pede**, L. Piegari*, E. Tironi*.

*POLITECNICO DI MILANO

**ENEA

Roma, 19 settembre 2011