

**ENEA**

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



**RICERCA DI  
SISTEMA ELETTRICO**



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

# “Effetti della ricarica rapida sui sistemi di accumulo”

G. Pede, F. Vellucci

ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico  
Roma, 15 Luglio 2015



Definizione di ricarica rapida

Esperienza ENEA

Implementazione su minibus:  
sistema batterie multi stringa - multi modulo

Missione richiesta da TPL

# Ricarica rapida - Definizione

## Importanza della ricarica rapida

Veicolo elettrico

Autonomia

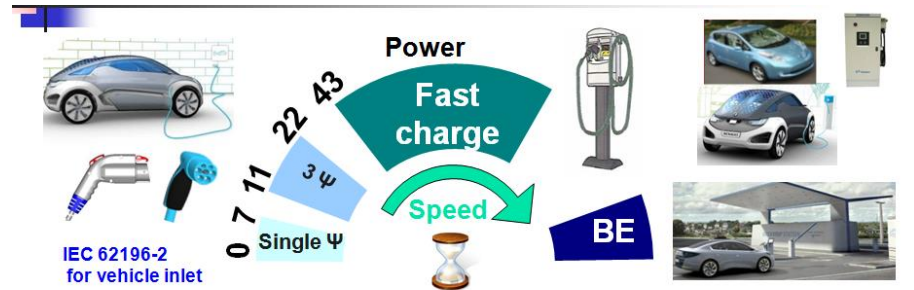
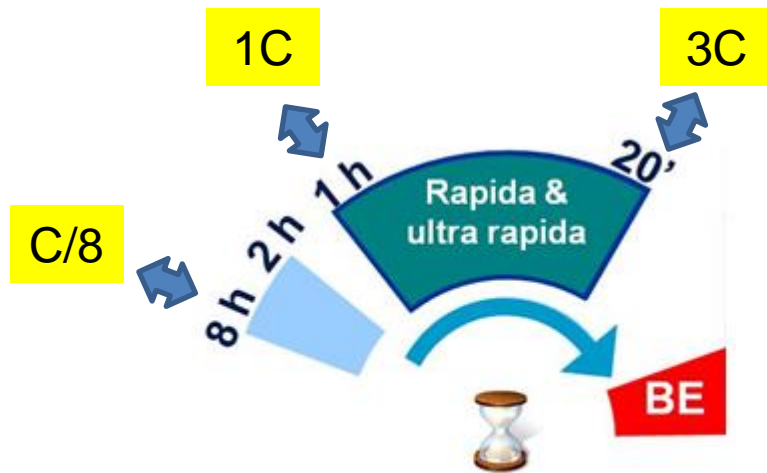
Ricarica




Velocità di ricarica

Infrastruttura



## Scenario per la definizione di ricarica rapida



	Standard charge (AC)	→ 1ph: between 4 an 8 hours 3ph: between 1 an 2 hours
	Fast charge (AC or DC)	→ 1 hour or less
	Battery exchange	→ in a few minutes !

Mancanza di letteratura

## Esperienza ENEA

Prove vita di batterie al Li sottoposte a profili di lavoro con carica rapida

Ricarica rapida legata alla missione del veicolo

Minibus in servizio su percorso di 4 ÷ 5 km – ricarica 5' al capolinea

Prove vita a livello di cella e modulo

Sistema batteria multi stringa multi modulo

Implementazione su minibus

## Caratteristiche



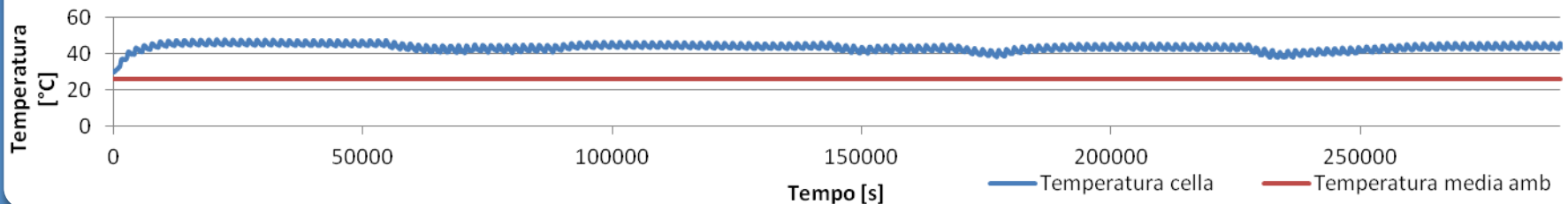
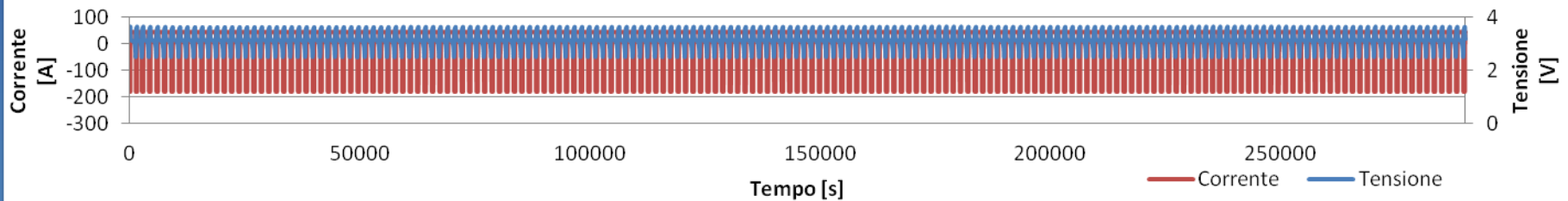
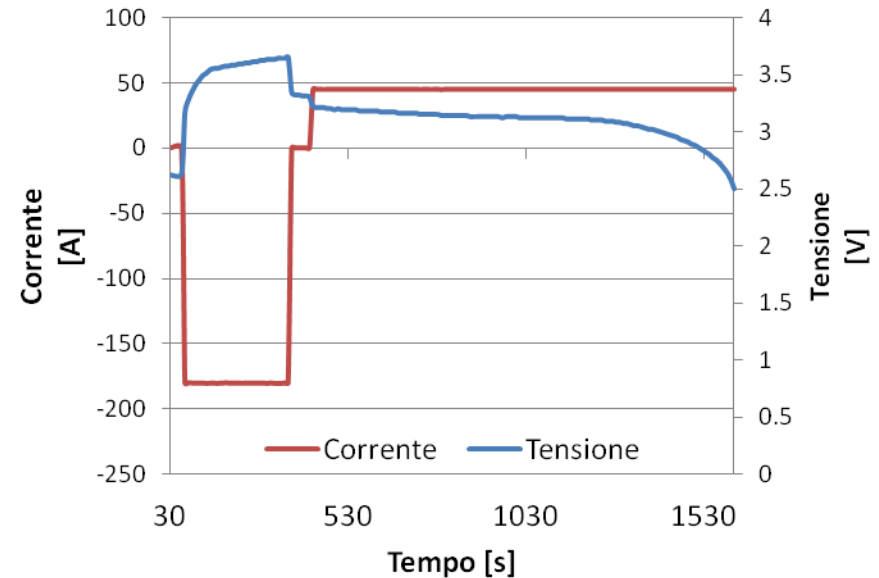
CELLA LFP 3.2 V – 60 Ah		
Tipo		LFP
Capacità		60 Ah
Tensione	nominale	3.20 V
	minima	2.50 V
	massima	3.65 V
Corrente massima continuativa	scarica	180 A
	carica	60 A
Temperatura di esercizio	scarica	-20 ÷ +60° C
	carica	0 ÷ +45° C

## Profilo di prova

- Carica 3C per 300 s
- Pausa 60 s
- Scarica 2/3C per 1200 s
- Pausa 60 s

n. 3 celle testate

## Profilo di prova

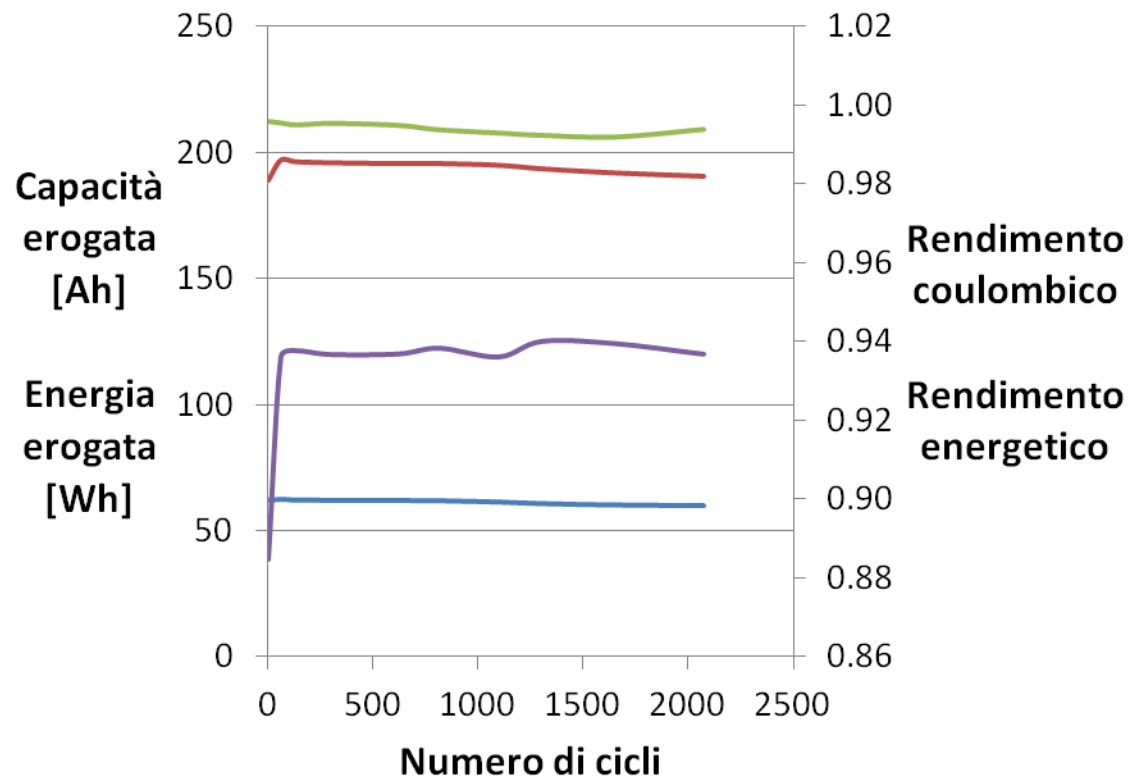


## Risultati

- N. cicli eseguiti > 2000
- No degrado prestazionale apprezzabile

**I risultati ottenuti  
incoraggiano  
la ripetizione delle prove a  
livello di modulo**

## Check periodico delle prestazioni



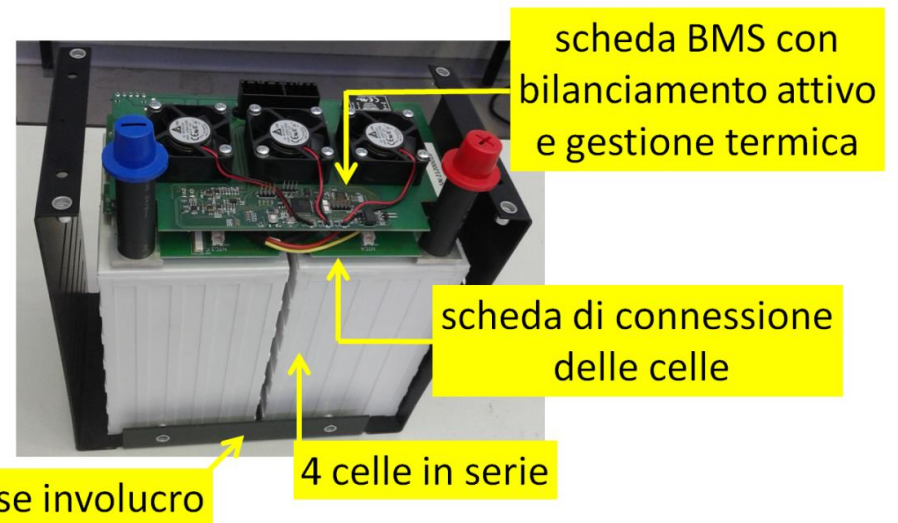
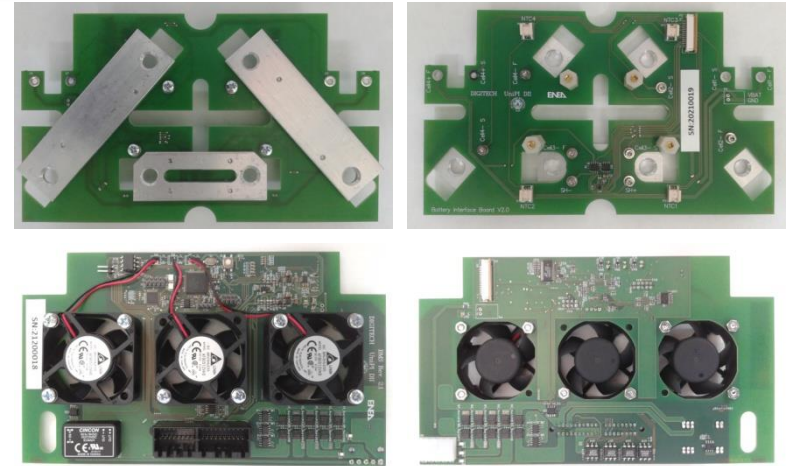
— Capacità erogata      — Energia erogata  
— Rendimento coulombico      — Rendimento energetico

## Modulo batterie 12 V – 60 Ah

- 4 celle in serie, 12.8 V – 60 Ah
- 1 scheda interconnessione potenza e segnale
- 1 scheda BMS monitoraggio, protezione, bilanciamento attivo
- 3 ventole 12 V - 30 Nm<sup>3</sup>/h comando BMS, soglia impostabile, azionamento parziale
- pannello base in neoprene
- elementi interni di bloccaggio orizzontale e verticale, rigidi e semirigidi
- involucro in Al base e coperchio

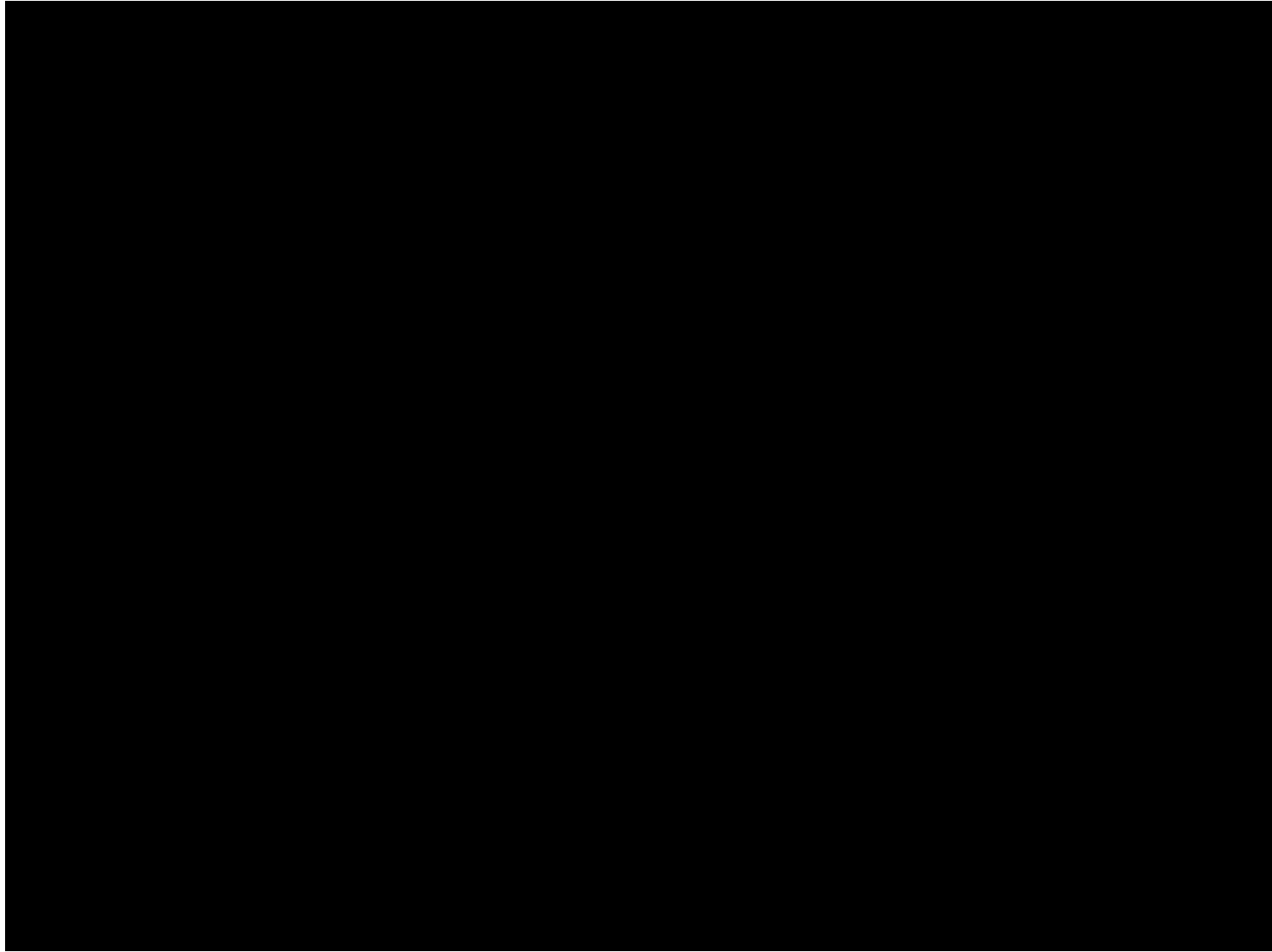


UNIVERSITÀ DI PISA



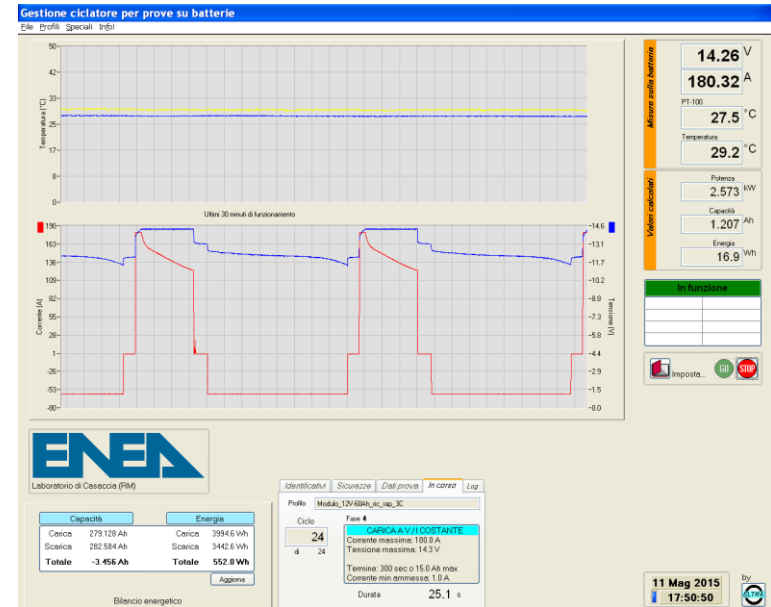


# Ricarica rapida – Modulo batterie 2°



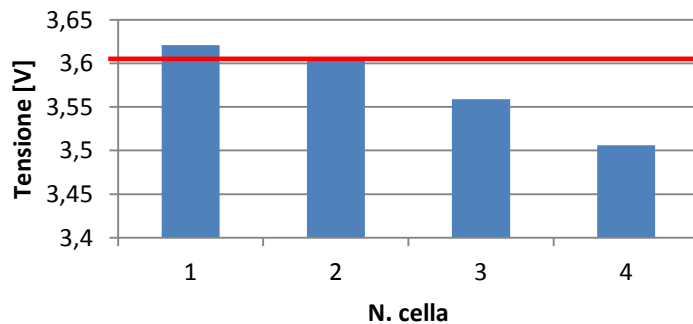
## Profilo di prova

- Start SOC 100%
- Scarica 1C per 900 s
- Pausa 60 s
- Carica CC/CV  $I_{\max} = 3C$  per 300 s
- Pausa 60 s
- Ripetizione per 10 h
- Ricarica lenta e completa



## Considerazioni sul comportamento del modulo sottoposto a ricarica rapida

### Tensione di cella



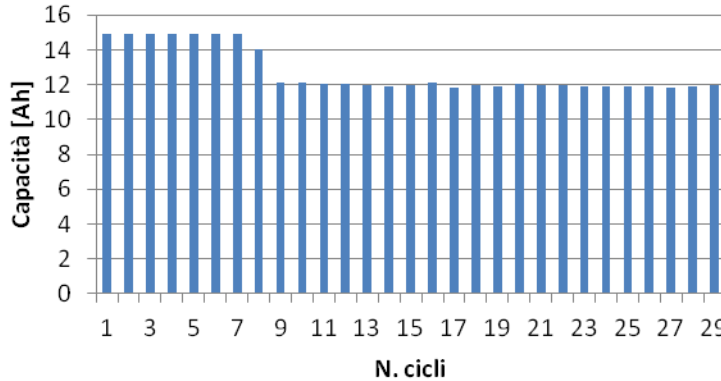
Il modulo non accetta carica CC @ 3C

↓

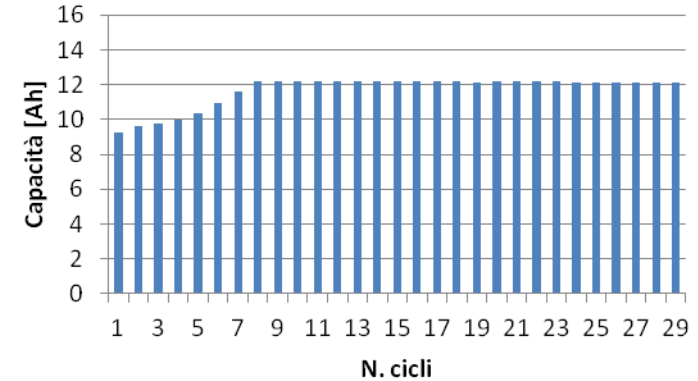
Carica CC-CV e celle bilanciate

# Ricarica rapida – Prova su modulo 2°

### Capacità in scarica

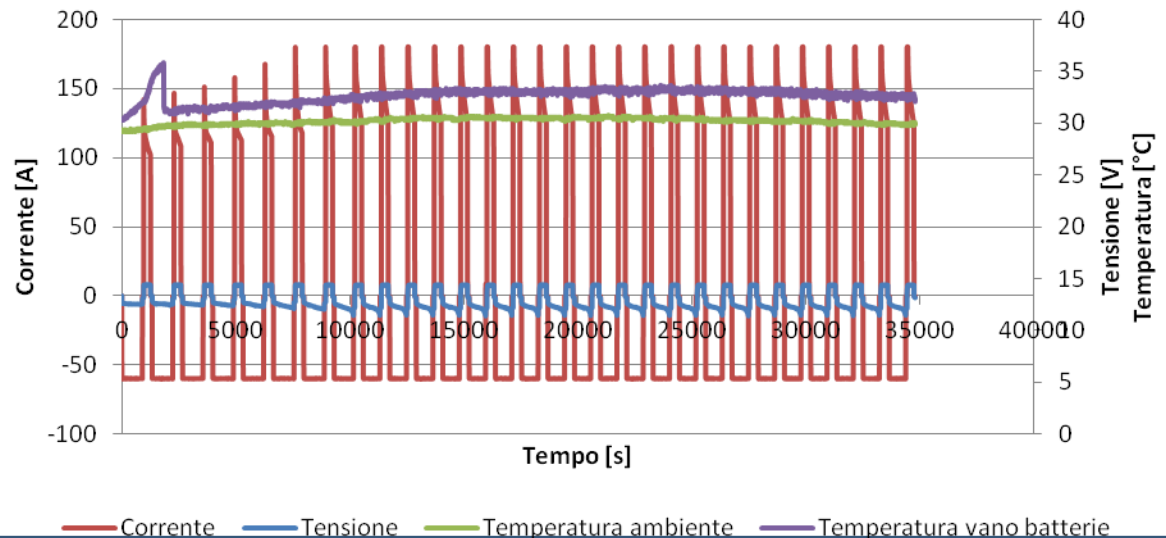


### Capacità in carica



“Equilibrio”  
della quantità  
di carica  
(SOC ~ 33%)

### Grandezze elettriche e termiche Tipico andamento su 30 cicli



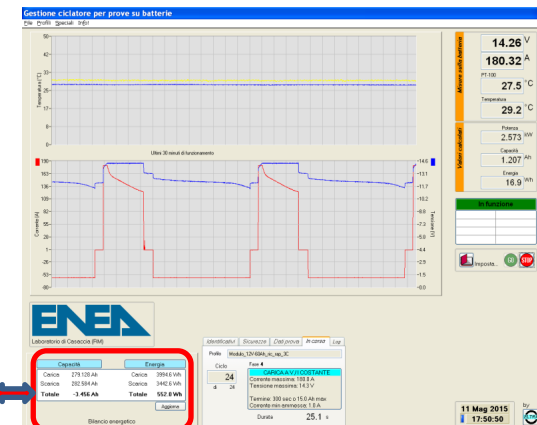
Andamento delle  
grandezze termiche  
ed elettriche

# Ricarica rapida – Risultati della prova su modulo

## Bilancio della quantità di carica elettrica

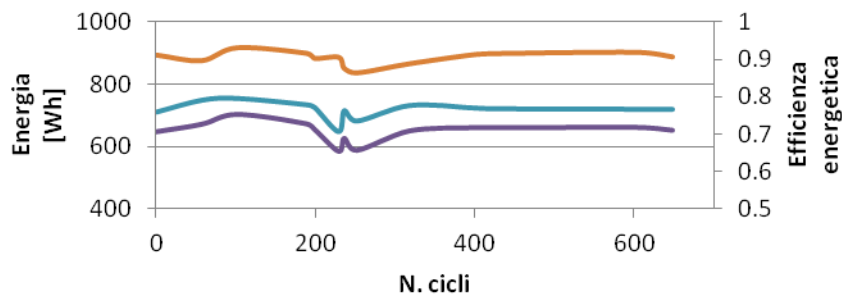
Carica elettrica erogata  
senza interruzione del servizio  
maggiore della capacità nominale

Capacità		Energia	
Carica	279.128 Ah	Carica	3994.6 Wh
Scarica	282.584 Ah	Scarica	3442.6 Wh
<b>Totale</b>	<b>-3.456 Ah</b>	<b>Totale</b>	<b>552.0 Wh</b>



## Check periodico delle prestazioni

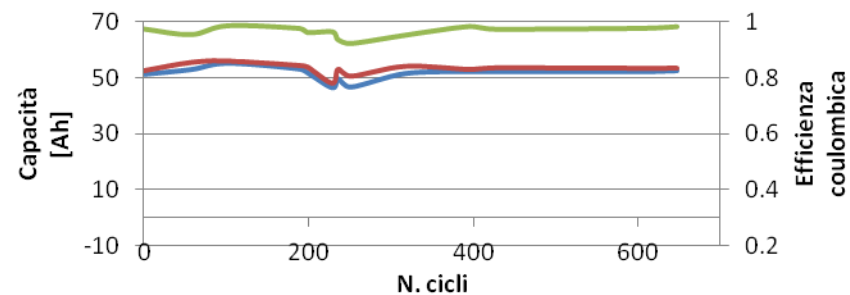
### Check prestazioni - Energia



— Energia in scarica @ C/2     — Energia in carica CC/CV @ C/3  
— Efficienza energetica

• Prove in corso, n. cicli eseguiti 650

### Check prestazioni - capacità



— Capacità in scarica @ C/2     — Capacità in carica CC/CV @ C/3  
— Efficienza coulombica

• No decadimento prestazionale apprezzabile

# Ricarica rapida – Minibus 1°

Il profilo di lavoro utilizzato per la prova vita del modulo è compatibile con una tipologia di missione richiesta dal TPL



## Minibus “Gulliver” Tecnobus

Massa (1200 kg Pb)	6000 kg
Velocità media	20 km/h
Consumo specifico	700 Wh/km

Dati di ingresso	
C	Consumo chilometrico 0.6 kWh/km
P	Potenza di ricarica 55 kW
v	Velocità media 20 km/h
η	Rendimento azionamento 0.8

(2 x 132 kg batterie + 2 x 70 kg cassoni)

### Incognite:

tempo di marcia = m  
tempo di sosta = s

### Equazioni risolventi

1) Tempo marcia + tempo sosta = tempo totale

$$m + s = 1$$

2) Energia carica = energia scarica / rendimento azionamento

Potenza di ricarica x tempo di sosta = consumo chilometrico x percorrenza / rendimento azionamento  
= consumo chilometrico x velocità x tempo di marcia / rendimento azionamento

$$P \cdot s = C \cdot v \cdot m / \eta$$

Risolviendo per m l'equazione 1):

$$m = 1 - s$$

Sostituendo nella 2):

$$P \cdot s \cdot \eta = C \cdot v \cdot m = C \cdot v \cdot (1 - s)$$

$$P \cdot \eta / (C \cdot v) = (1 - s) / s = 1/s - 1$$

$$P \cdot \eta / (C \cdot v) + 1 = 1/s$$

$$s = 1 / (P \cdot \eta / (C \cdot v) + 1)$$

$$s = 0.213383407$$

$$m = 0.786616593$$

Verifica: 11.79924889      ""      11.79925

Risultati										
Abbiamo quindi che in 1 ora (cioè 60'):										
tempo di marcia =	47 minuti	Tratta (A & R) in km	3.93	Marcia	11.80	Sosta	3.20	Tempo di ciclo	15	4 giri
tempo di sosta =	13 " "		5.24		15.73		4.27		20	3 giri
tempo totale =	60 " "		7.87		23.60		6.40		30	2 giri
percorrenza oraria =	15.73233 km		15.73233185		47		13		60	1 giro
L'energia da caricare in 1 ora (DOD: 80%) è quindi:										
E =	11.79924889 kWh									
Adottando una corrente di ricarica massima pari a 3C, la potenza di ricarica impostata:										
richiede una batteria di taglia pari a:										
				55.296 kW						
				18.432 kWh						

Tipo modulo	Energia modulo	N.moduli
12.8 V/60 Ah	768	24

Foglio di calcolo  
“Sistema batterie per minibus”

Un sistema batterie di 24 moduli consente di realizzare una missione di TPL per il minibus “Gulliver” Tecnobus secondo il profilo di lavoro utilizzato per la prova vita

## Implementazione su minibus: sistema batterie multi stringa - multi modulo

- Sistema: 4 stringhe 72 V – 60 Ah in parallelo, totale 72 V – 240 Ah
- Stringa: 6 moduli 12 V – 60 Ah in serie, totale di stringa 72 V – 60 Ah

- Il sistema batterie è alloggiato in due cassoni, due stringhe in ogni cassone

- Il profilo di ricarica rapida fornisce al minibus “Gulliver” (Tecnobus) 15' di autonomia, ovvero 4 km di marcia alla velocità media di 20 Km/h
- Questa prestazione è compatibile con una tipologia di missione richiesta dal TPL

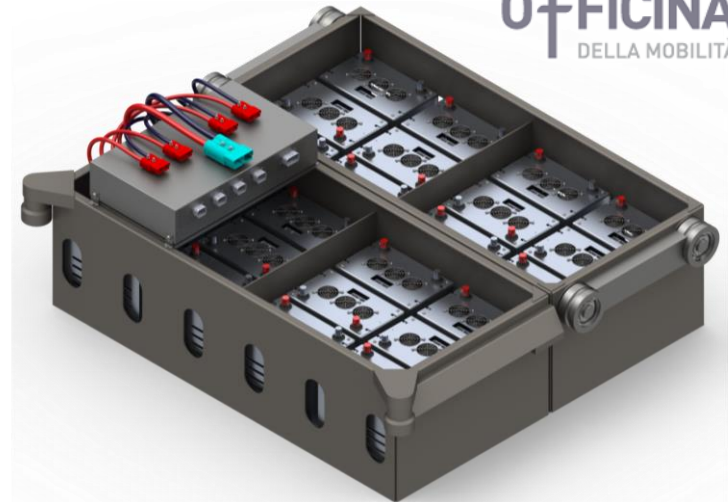


UNIVERSITÀ DI PISA



CENTRO DI RICERCA  
PER IL TRASPORTO  
E LA LOGISTICA

OFFICINA  
DELLA MOBILITÀ



E' stato mostrato un esempio che dimostra:

- **la fattibilità tecnica della ricarica rapida**
- **l'utilità della ricarica rapida nel rendere possibile l'uso dei veicoli elettrici**

## Proseguimento delle attività:

- Terminare la prova vita sul modulo
- Collaudo elettrico del sistema batterie
- Collaudo vibrazionale del sistema batterie
- Installazione su minibus
- Prove del minibus al banco a rulli
- Prove del minibus su strada
- Input per passare da versione sperimentale a versione industriale





Grazie

*per ulteriori informazioni:*

[francesco.vellucci@enea.it](mailto:francesco.vellucci@enea.it)

[giovanni.pede@enea.it](mailto:giovanni.pede@enea.it)

*M. Ceraolo, T. Huria, C. Zappacosta, "Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS", Report RdS/2011/318*

*F. Vellucci, G. Pede, "Sviluppo di moduli batterie litio-ioni per avviamento e trazione non auto motive", Report RdS/2011/27*

*F. Vellucci, G. Pede, A. Mariani, F. D'Annibale, "Sviluppo e realizzazione di moduli batterie litio-ioni per avviamento e trazione non auto motive", Report RdS/2012/087*

*F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, "Sviluppo di un BMS (Battery Management System) con sistema di bilanciamento attivo per sistema batterie al LiFePO4 da 48 Vn - 100 Ah", Report RdS/2012/088*

*F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, "Progettazione definitiva del BMS per batterie di avviamento e trazione non auto motive", Report RdS/2012/089*

*F. Vellucci, G. Pede, V. Sglavo, F. D'Annibale, A. Mariani, "Moduli standard di batterie al litio: test di caratterizzazione e duty cycle per applicazioni stazionarie, con ottimizzazione del BMS", Report RdS/2013/247*

*F. Baronti, R. Roncella, R. Saletti, "Ottimizzazione di sistemi di controllo BMS per moduli batterie al litio da utilizzare in applicazioni stazionarie", Report RdS/2013/246*