

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

“Second life”, vita accelerata e modellistica

F. Vellucci, M. Pasquali

ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico

Roma, 3 Luglio 2015



Auto elettrica



Accumulo ad alta capacità

Ritiro celle
automotive



Capacità residua $\leq 80\%$
della capacità nominale



La capacità residua può
essere sufficiente per altre
applicazioni?



Riutilizzare le batterie
comporta un vantaggio
economico?



Sì



Sì



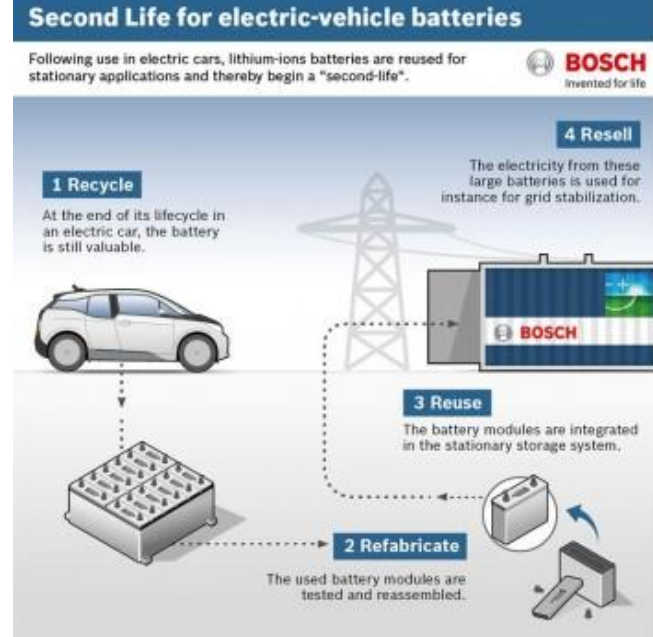
Aumentare il valore operativo delle batterie

Ridurre il costo dei sistemi d'accumulo



Collaborazione Bosch BMW Vattenfall

Auto elettrica → Accumulo su rete di distribuzione



BOSCH

Invented for life



VATTENFALL



Nel caso della second life alcune problematiche generiche dei sistemi batterie sono più evidenti

- Assemblaggio di **celle omogenee**
- Reclutamento delle celle mediante **criteri omogenei di ritiro e caratterizzazione**
- Necessità di **un'elettronica di controllo** per l'ottimizzazione delle prestazioni e la gestione della sicurezza
- La costruzione del sistema batterie comporta un lavoro di assemblaggio



La second life non è completamente gratuita

La vita nella seconda applicazione ha fondamentale importanza

Identificazione delle caratteristiche della cella degradata



Individuazione delle correnti continuative ed 'impulsive' per la costruzione di un profilo di lavoro che non provochi il degrado veloce della cella



Identificazione di applicazioni compatibili con il profilo di lavoro definito



Costruzione del profilo di test per la prova vita



Esecuzione della prova vita

L'ENEA ha effettuato una campagna sperimentale su celle al litio utilizzate per autotrazione

Fornitore FIB (ex FAAM) – Non utilizzati criteri uniformi per il ritiro dal servizio

Ricevute 15 celle 90Ah LFP

Parametri considerati per la **stima del degrado**

- Capacità residua
- Resistenza interna
- Rendimento amperometrico
- Rendimento energetico
- Deformazione della geometria della cella

La conoscenza di queste grandezze è utile per la **costruzione di modelli d'invecchiamento** delle batterie secondo determinati profili di lavoro in applicazioni di second life

Celle al litio in prova



Laboratorio prove su sistemi di accumulo
Prestazioni elettriche

Ciclatori e camere climatiche



Ciclatore Eltra E-8325

Tensione	0 ÷ 12 V
Corrente max. dsch	150 A
Corrente max. ch	80 A

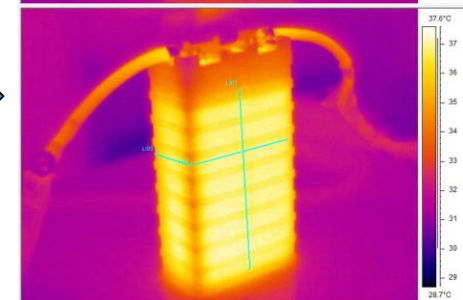
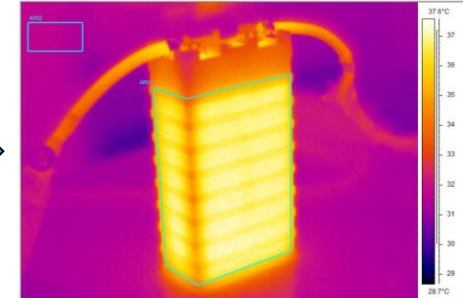
Analisi con termocamera

Termocamera Flir S6
Sensore: 320x240 pixel
Sensibilità termica: $< 0.1^\circ \text{C}$

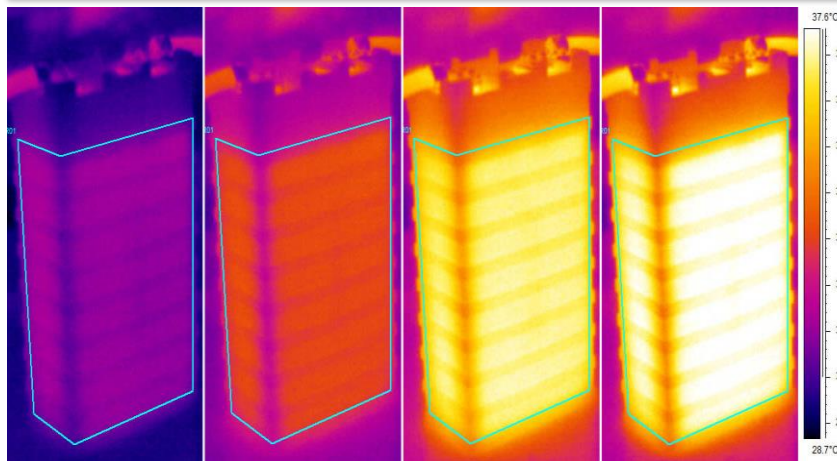
Immagine termografiche
ogni 10 minuti



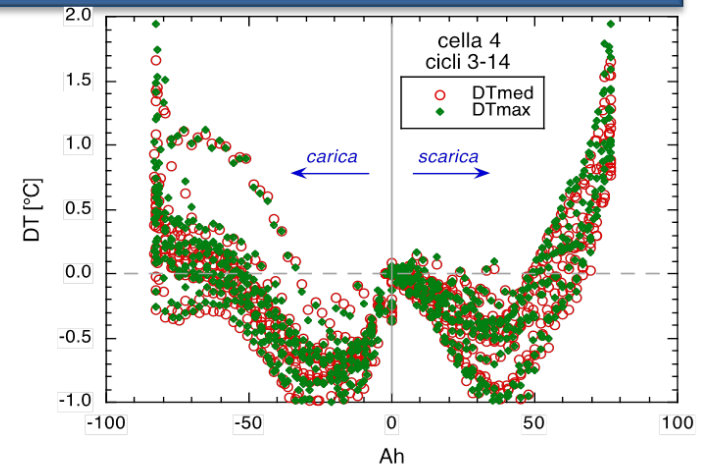
- Andamenti nel tempo della **temperatura su superfici** →
Tmed = temperatura media dell'area
Tmax = temperatura massima dell'area
Tamb = temperatura ambiente (sfondo)
- Andamento nel tempo della **temperatura lungo linee** →
- Sincronizzazione con i dati del ciclatore



Esempio dei risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati termografici



T durante una fase di scarica

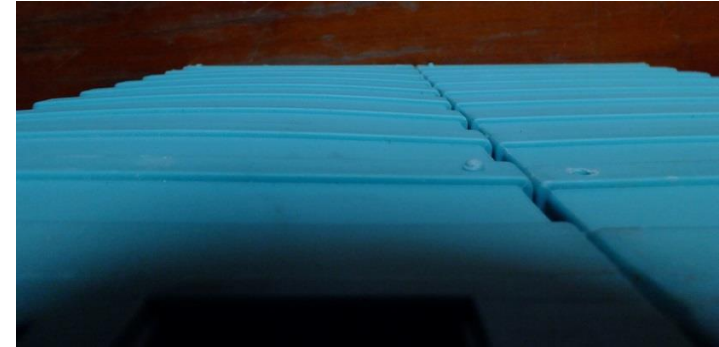


ΔT a vari regimi di corrente

L'analisi termica permette di:

- individuare **punti di criticità** (punti caldi)
- indagare circa la **necessità di raffreddamento** in esercizio
- indagare circa la **necessità di riscaldamento** nella fase di avviamento a freddo

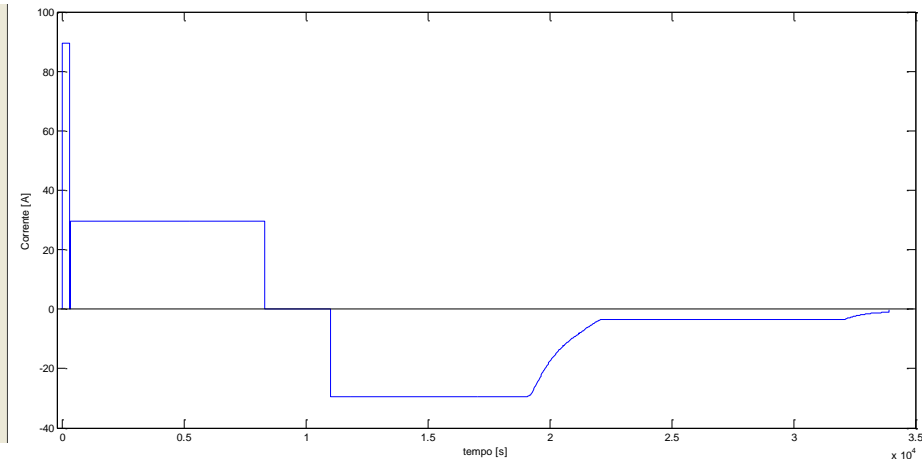
- Esecuzione di cicli standard ed impulsi a 30 A, 45 A, 90 A
- Eliminazione delle celle che non hanno superato le prove preliminari
- Definizione di un profilo di lavoro



Profilo di lavoro "Pro"

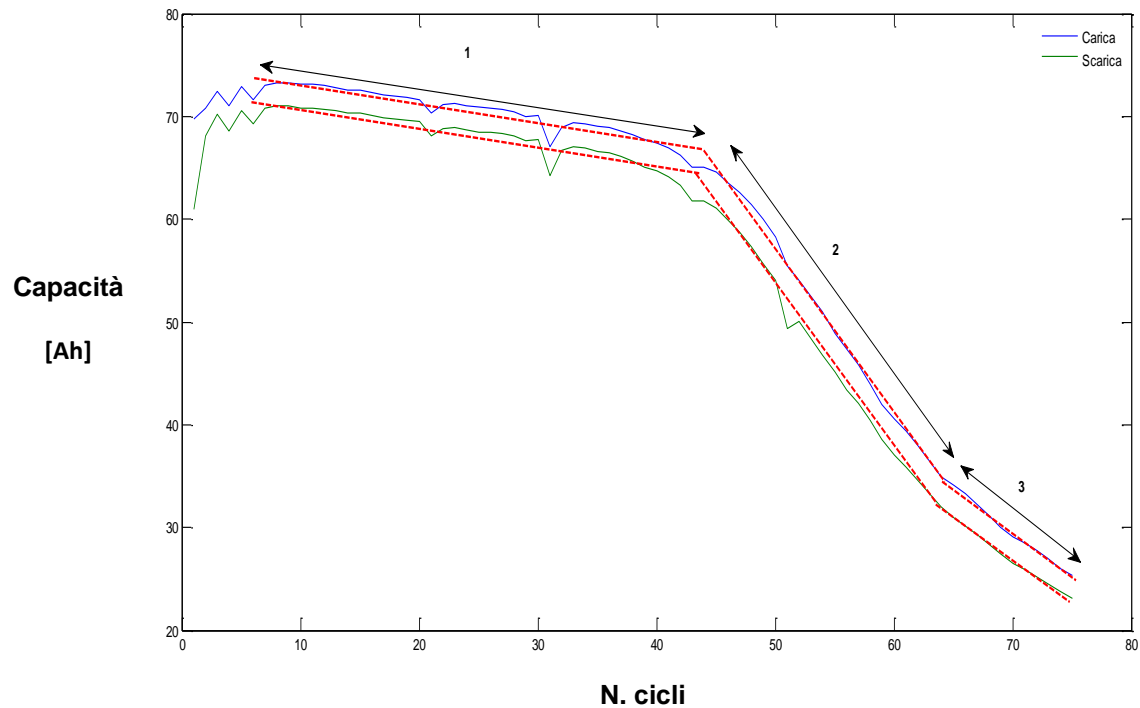
Caratteristiche della fase				Condizioni di fine fase						
Tipologia	A	V / W	Reg.D	Tempo	Capacità	Tensione	Corrente	Rampa	Allarme ext	
1	Pausa		2s	10s						
2	Scarica I cost	90.0A	10 r/sec	10s	5.0Ah	2.5V min				
3	Scarica I cost	90.0A		10s	170s	5.0Ah	2.5V min			
4	Pausa		10 r/sec	5s						
5	Pausa			5s	25s					
6	Scarica I cost	30.0A	10 r/sec	10s	100.0Ah	2.5V min				
7	Scarica I cost	30.0A		30s	12600s	100.0Ah	2.5V min			
8	Pausa		10 r/sec	10s						
9	Pausa			150s	1790s					
10	Carica I cost	30.0A	10 r/sec	10s	100.0Ah	3.8V max				
11	Carica V cost	30.0A max	3.8V	30s	14400s	100.0Ah	1.0A min			
12	Pausa		10 r/sec	10s						
13	Pausa			150s	1790s					

Deformazione dopo prove standard



- Il ciclo schematizza una **possibile applicazione stazionaria**

Risultati dall'analisi delle prestazioni elettriche su 5 celle

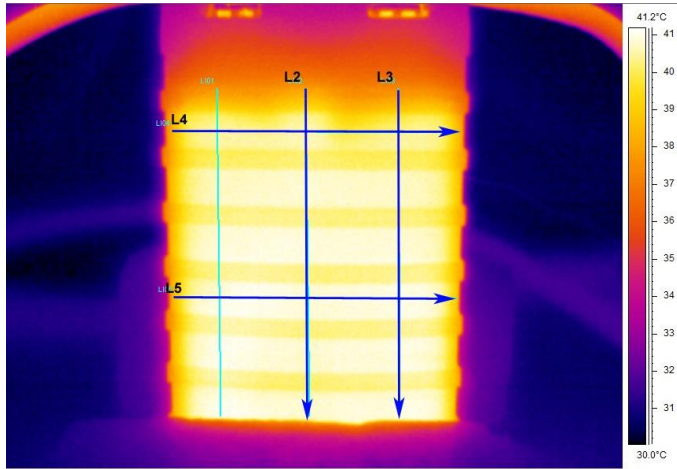


Tre “velocità” di **degrado della capacità**

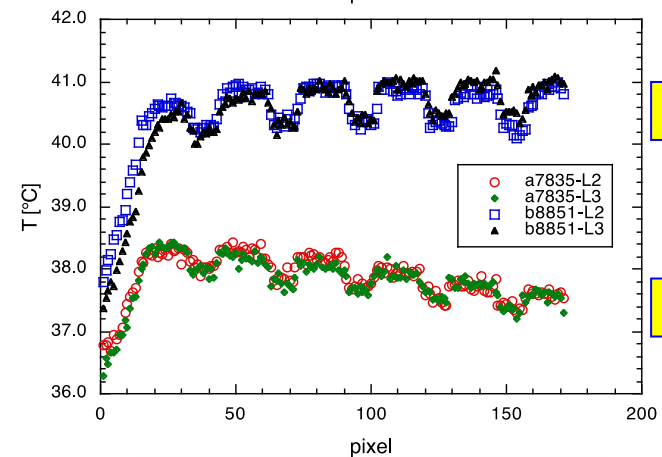
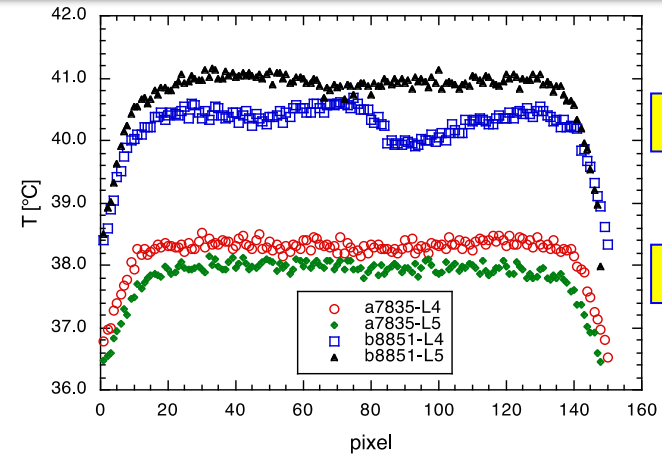


**Deformazione della geometria
del case della cella**

Analisi termica su ciclo “Pro” - Distribuzione superficiale della temperatura



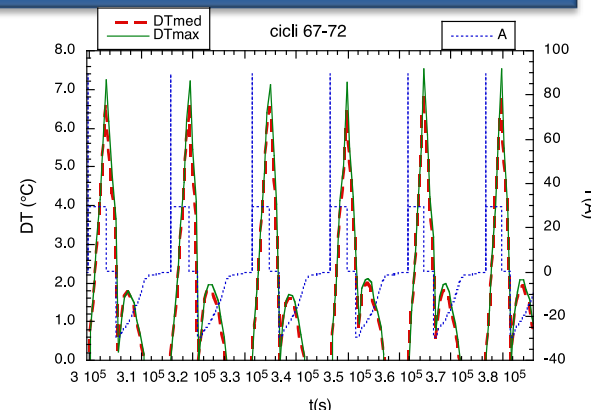
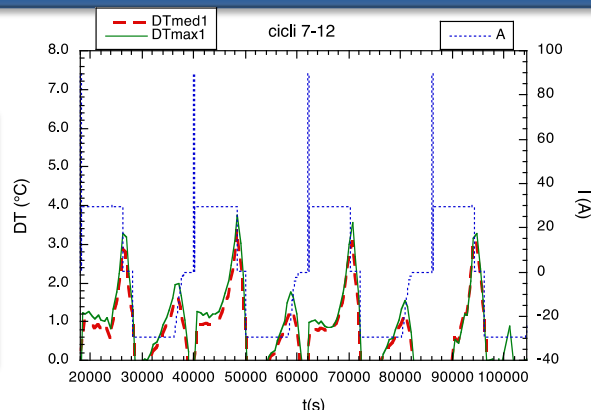
- Andamento della temperatura lungo il profilo orizzontale
- Andamento della temperatura lungo il profilo verticale
- Spostamento della zona più calda con l'invecchiamento
- Assenza di punti caldi



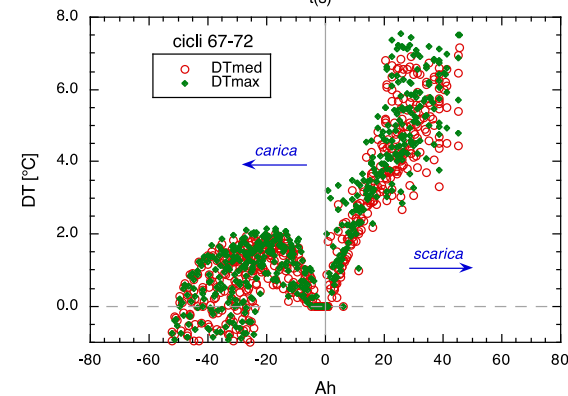
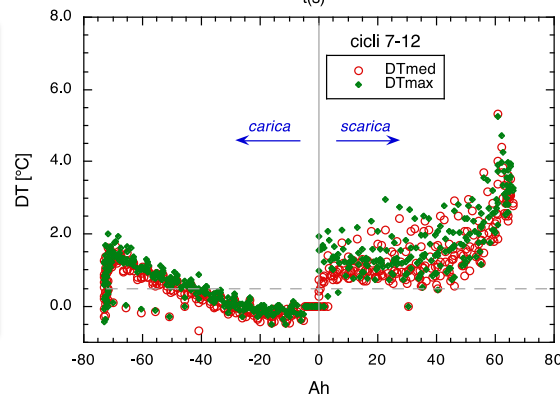
profili di temperatura
ad inizio e fine prova

Analisi termica su ciclo “Pro”: variazioni durante i cicli di lavoro

Riscaldamento rispetto ad inizio fase, in funzione del tempo



Riscaldamento, rispetto ad inizio fase, in funzione della quantità di carica



- Temperatura in scarica: dopo i **primi cicli $\Delta T +3^{\circ}\text{C}$** , negli **ultimi cicli $\Delta T +7^{\circ}\text{C}$**
- Temperatura in carica: dopo i primi cicli **$\Delta T +2^{\circ}\text{C}$ a fine fase**, negli ultimi cicli **$\Delta T +2^{\circ}\text{C}$ ad inizio fase**
- Aumento di temperatura con l'invecchiamento: **spostamento verso inizio fase**

Definizione del profilo “Light”

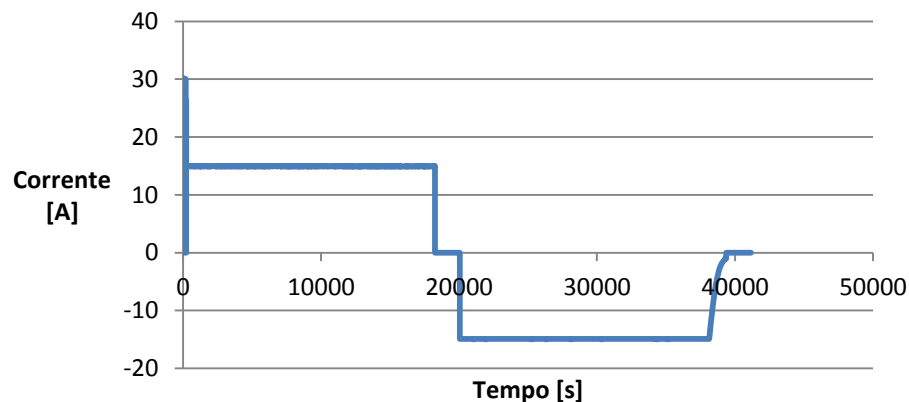
Caratteristiche della fase				Condizioni di fine fase			
Tipologia	A	V/W	Reg.D	Tempo	Capacità	Tensione	Corrente
1	Pausa		2s	10s			
2	Scarica I cost		30.0A	10 r/sec	10s	5.0Ah	2.5V min
3	Scarica I cost		30.0A	10s	170s	5.0Ah	2.5V min
4	Pausa		10 r/sec	5s			
5	Pausa		5s	25s			
6	Scarica I cost		15.0A	10 r/sec	10s	100.0Ah	2.5V min
7	Scarica I cost		15.0A	30s	25200s	100.0Ah	2.5V min
8	Pausa		10 r/sec	10s			
9	Pausa		150s	1790s			
10	Carica I cost		15.0A	10 r/sec	10s	100.0Ah	3.8V max
11	Carica V cost		15.0A max	3.8V	30s	28800s	100.0Ah 1.0A min

Risultati delle prove di prestazioni elettriche su 5 celle

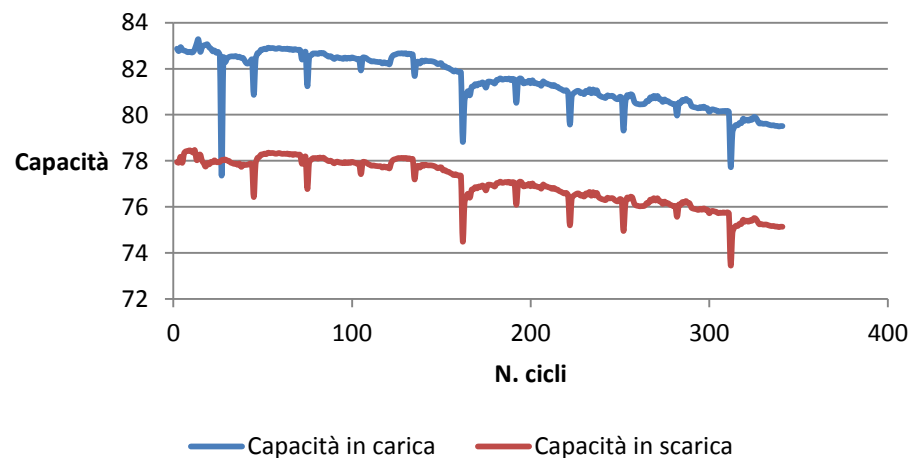
No significativa riduzione
(~ 4% in 350 cicli)

No rigonfiamento

Profilo "Light"

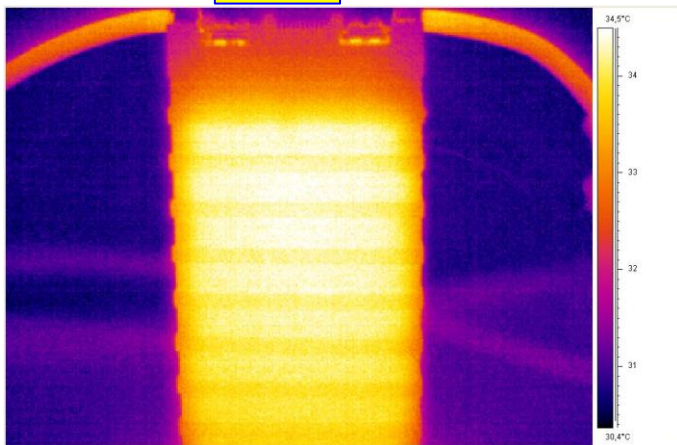


Profilo “Light” - Curve di capacità

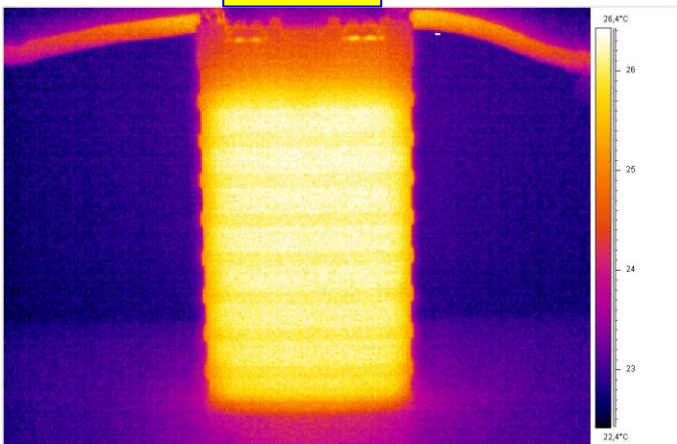


Second life – Prove vita profilo “Light” - 2°

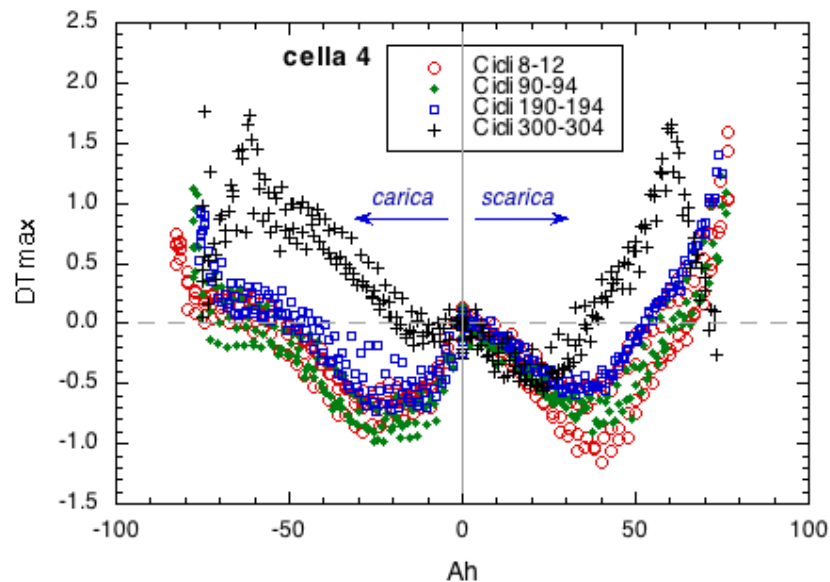
Ciclo 4



Ciclo 310



Riscaldamento rispetto ad inizio fase, in funzione della carica elettrica erogata/assorbita



ΔT molto minore rispetto al profilo “Pro”

$$\Delta T_{\max.} = 1 \div 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

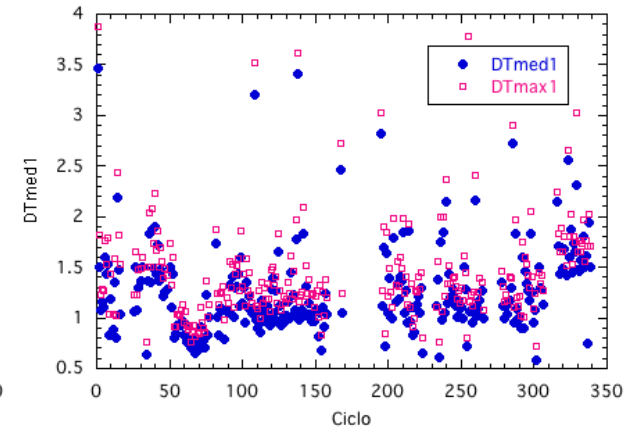
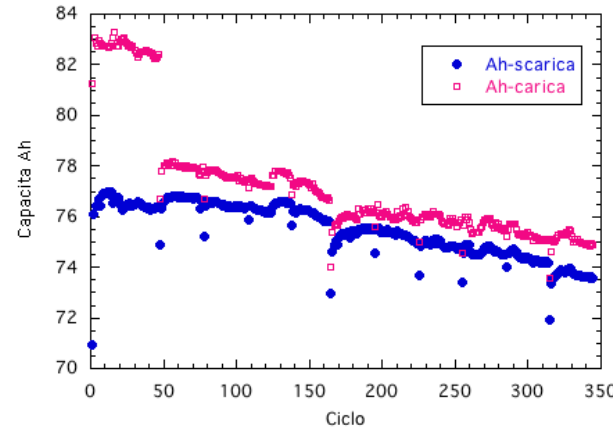
Le prestazioni peggiorano poco con l'invecchiamento

Second life – Confronto profilo “Light” e “Pro”

Confronto tra profilo “Light” e profilo “Pro” sulla base dell’elaborazione dei dati termografici

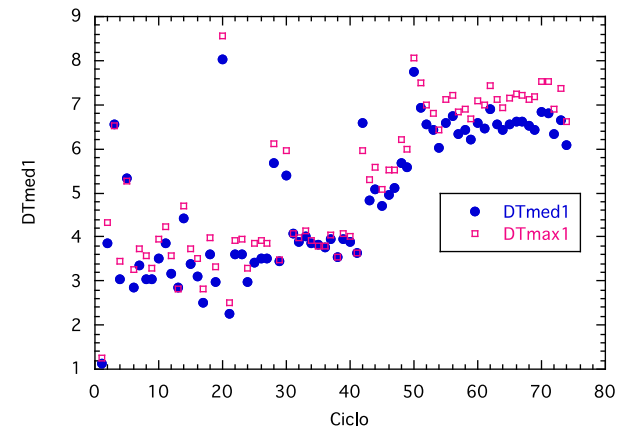
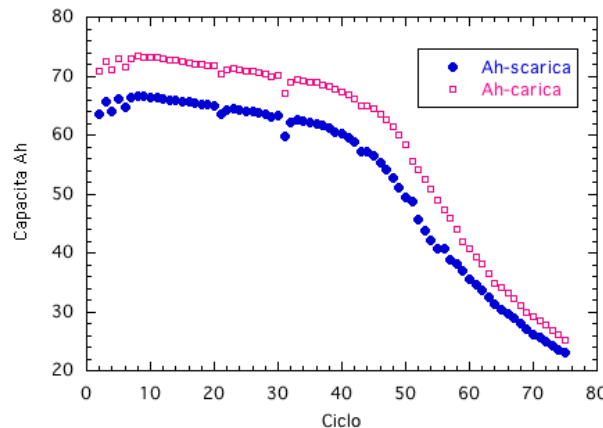
Profilo “Light”

- **344 cicli**
- piccola diminuzione delle prestazioni elettriche
- piccolo ΔT



Profilo “Pro”

- **75 cicli**
- sensibile diminuzione delle prestazioni elettriche
- ΔT elevato



L'impiego di batterie al litio in applicazioni di second life è fattibile

Vantaggi/obiettivi conseguibili:

- **sistemi energeticamente più efficienti**
- **sistemi economicamente più convenienti**

Vantaggi e benefici applicativi dovranno essere individuati e confermati sperimentalmente



Necessitano ulteriori sforzi di ricerca e sviluppo

- definizione dei criteri di selezione delle celle
- definizione dei profili applicativi
- sperimentazione di varie tecnologie di batterie al litio
- analisi degli aspetti di sicurezza



Grazie per l'attenzione!!!

francesco.vellucci@enea.it
manlio.pasquali@enea.it

