



Accordo di Programma MSE-ENEA



RICERCA SISTEMA ELETTRICO

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

Elettrotecnologie innovative per i settori produttivi:

Applicazioni dimostrative su scala reale

Utilizzo di sistemi di accumulo per il recupero energetico su

- Carroponte (supercondensatori)**
- Funicolare (batterie al litio)**

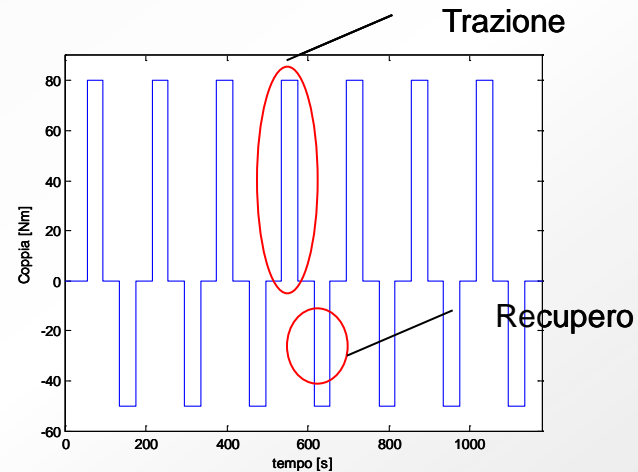
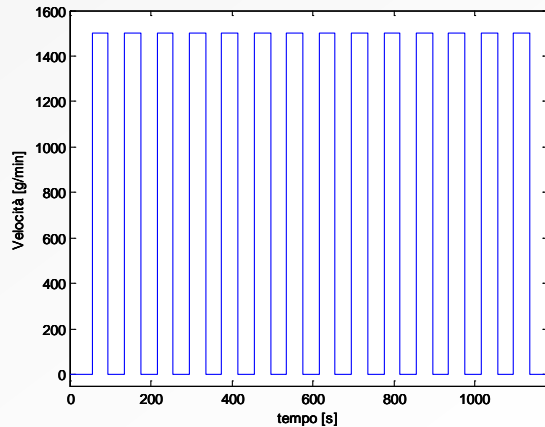
Manlio Pasquali
ENEA

Roma, 19 settembre 2011

- A** Sviluppo di algoritmi a stati finiti per la gestione dei supercondensatori (approccio General Purpose)
- B** Sviluppo di algoritmi orientati al problema specifico
- C** Sviluppo di cicli test per la messa a punto finale e la validazione degli algoritmi
- D** Esecuzione dei test – comparazione dei risultati

G

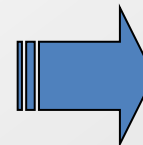
Fasi di trazione (sollevamento) e recupero (posa)



Schematizzate in funzione del valore della coppia

Situazioni generali:

- Ciclo bilanciato (sollevamento e posa)
- Ciclo solo sollevamento (es carico nave)
- Ciclo solo discesa (es scarico nave)



Sintesi cicli:

Leggero ($1/2 P_{nom}$)

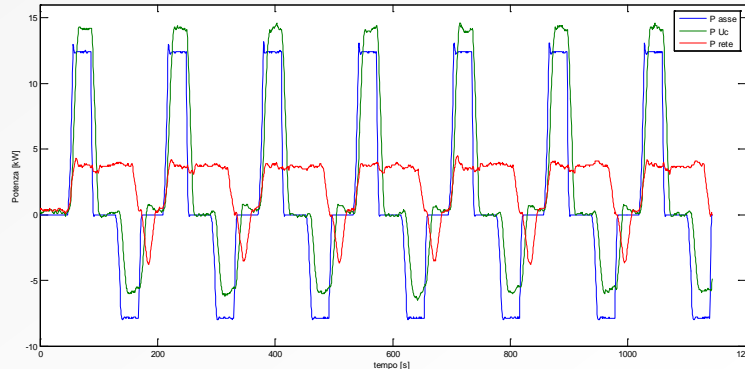
Bilanciato, sollevamento, recupero

Pesante (P_{nom})

Bilanciato, sollevamento, recupero

Diversi valori della massa di carico

Prove sperimentali:



Rilievo di Potenza ed Energia


- Asse
- UC
- Rete



Comparazione Prestazioni diverse soluzioni HD/SW

Risultati primo anno:

Ciclo	Recupero	SC	Max P _{traz} [kW]	Max P _{rec} [kW]	Erete [kWh]
Max load	no	no	15.40	0	1.260
Max load	no	si	3.9	0	1.317
Max load	si	no	15.40	-5.54	0.748
Max load	si	si	3.9	0	0.862
½ load	no	no	10.08	0	0.917
½ load	no	si	3.9	0	1.004
½ load	si	no	10.08	1.9	0.651
½ load	si	si	3.9	0	0.745



P _{tr} /P _t base	Δ% E _{base}
1	0
0.25	+4.52
1	-40.63
0.25	-31.58
1	0
0.38	+9.48
1	-29.00
0.38	-18.76

Risultati pregressi:

Ptr/Pt base	$\Delta\%$ Ebase
1	0
0.25	+4.52
1	-40.63
0.25	-31.58
1	0
0.38	+9.48
1	-29.00
0.38	-18.76

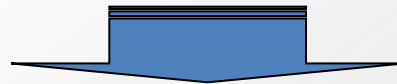
Nelle condizioni considerate, su ciclo pesante base:

Configurazione SC / Configurazione no recupero

- ✓ Riduzione del 31 % di energia assorbita
- ✓ Riduzione del 75 % della potenza richiesta alla rete

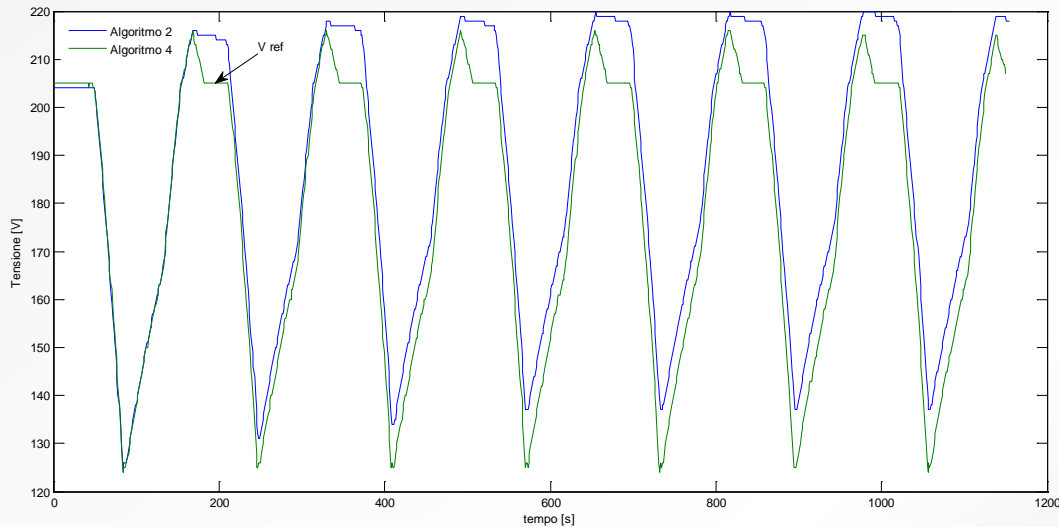
Configurazione SC / Configurazione recupero

- ✓ Incremento del 9 % della energia assorbita
- ✓ Riduzione del 75 % della potenza richiesta alla rete



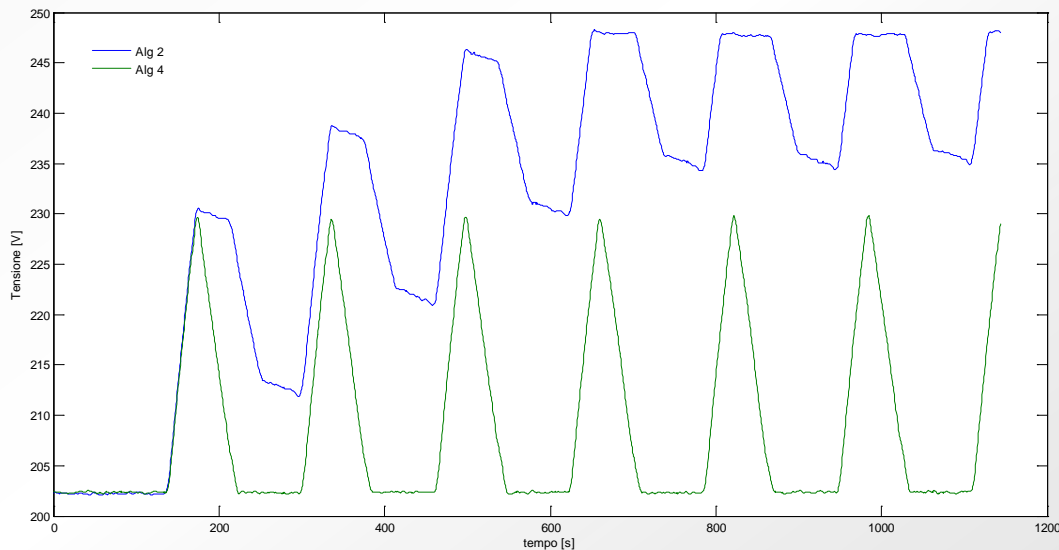
Attività dell'ultima annualità: Sviluppo di algoritmi di gestione energetica per L'ottimizzazione dell'utilizzo dei supercondensatori

Approccio a Stati Finiti (general purpose) A2 A4 Approccio dedicato A6 A8



Ciclo pesante equilibrato

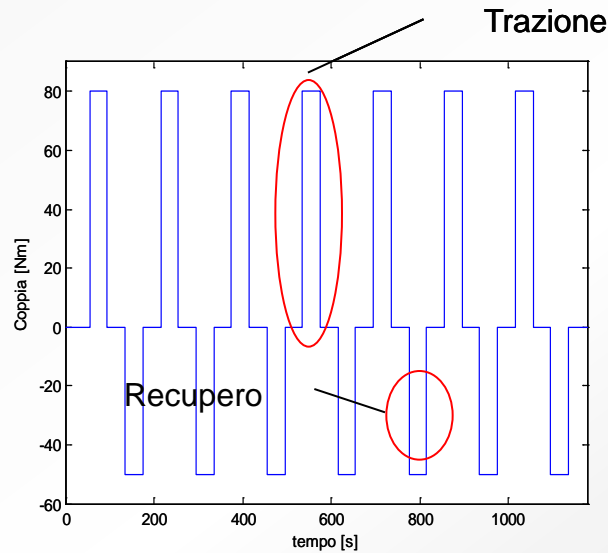
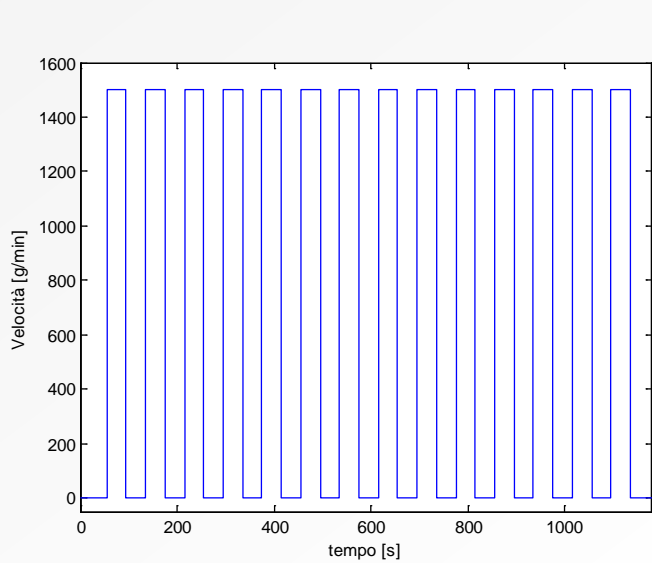
	A2	A4	A6	A8
Wh rete	859.24	827.9	765	800
Wh uc	-6.63	10.24	43.6	-30.1
Pmax rete	4200	4500	5500	5300
Pmin rete	0	-3800	-3300	0



Ciclo pesante rigenerativo

	A2	A4	A6
Wh asse	-482.622	-482.204	-482.622
Wh sc	-57.19	-11.02	-6.39
Wh rete	52.68	14.92	-36.3
Pmax rete	2700	3000	3100
Pmax asse	1700	1700	1700
Pmin rete	-5400	0	-3600
Pmin asse	-8000	-8100	-8100

Confronto delle prestazioni

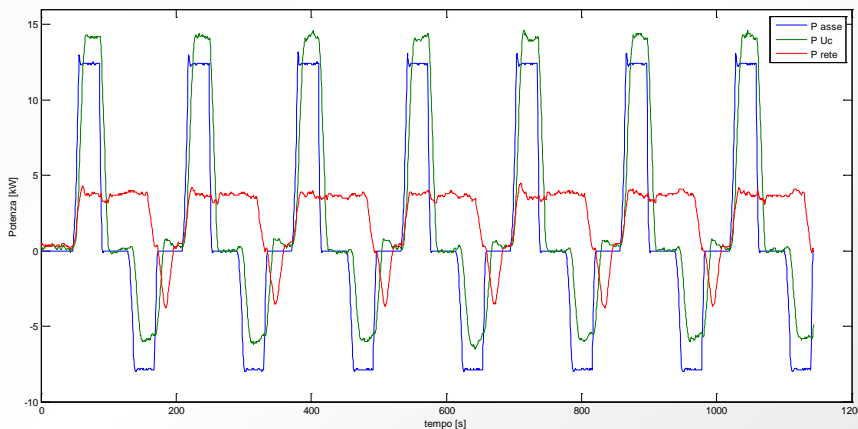


Ciclo bilanciato
Carico Nominale

Condizione ideale di lavoro



Difficoltà di ottimizzare le prestazioni



Algoritmo	A2	A4	A6	A8
Wh asse	317.8806	318.5722	317.906	318.0233
E util	852.61	837.24	808.6	769.9
Pmax rete	4200	4500	5500	5300
Pmin rete	0	-3800	-3300	0
'eta'	0.372832	0.380503	0.393156	0.413071
E util/Eut A8	1.10743	1.087466	1.050266	1

Algoritmo	A2	A4	A6	A8
Wh asse	317.8806	318.5722	317.906	318.0233
E util	852.61	837.24	808.6	769.9
Pmax rete	4200	4500	5500	5300
Pmin rete	0	-3800	-3300	0
'eta'	0.372832	0.380503	0.393156	0.413071
E util/Eut A8	1.10743	1.087466	1.050266	1

L'evoluzione delle strategie di gestione ha portato ad un miglioramento costante delle prestazioni del sistema

L'algoritmo A8 permette di ridurre le perdite nei supercondensatori e di evitare la rigenerazione in rete, con conseguente perdita di energia utilizzabile dall'accumulo.

L'energia assorbita dal sistema privo di accumulo ma dotato di recupero è 748 Wh nel ciclo pesante base

	A2	A4	A6	A8
Wh rete	859.24	827.9	765	800
Wh uc	-6.63	10.24	43.6	-30.1

E util	852.61	837.24	808.6	769.9
--------	--------	--------	-------	-------

La somma algebrica delle energie assorbite dalla rete ed erogate/accumulate Nei SC rende un indice delle prestazioni degli algoritmi (trascura eta uc di erogazione)

Funicolare Bergamo - Obiettivi del progetto

Dimostrare i vantaggi derivanti dall'impiego di batterie al litio in applicazioni stazionarie

Applicazione: impianto funicolare "Colle Aperto - San Vigilio"



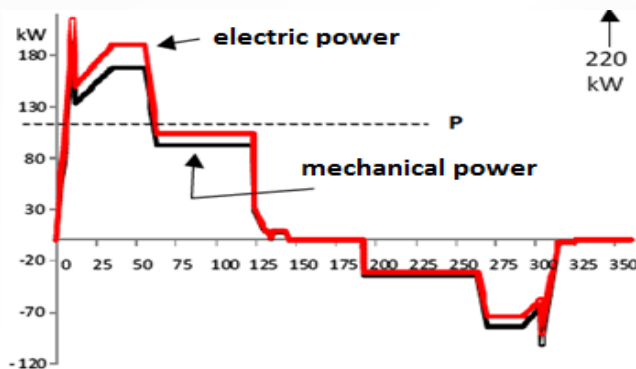
percorso: 620m

dislivello: 90m

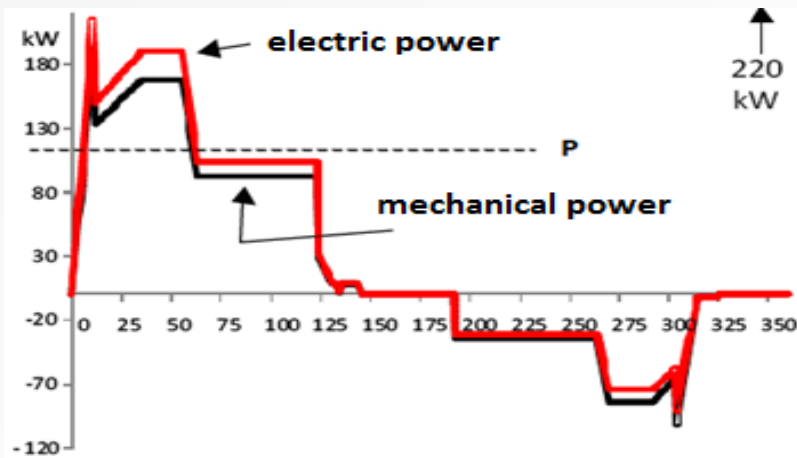
tipo: una sola vettura che si muove su una rotaia attraverso un cavo di trazione

vantaggi attesi:

- Riduzione della potenza da rete
- Riduzione dell'impatto dell'impianto sulla rete (smart grid)
- Risparmio energetico ed economico
- Riduzione emissioni CO₂



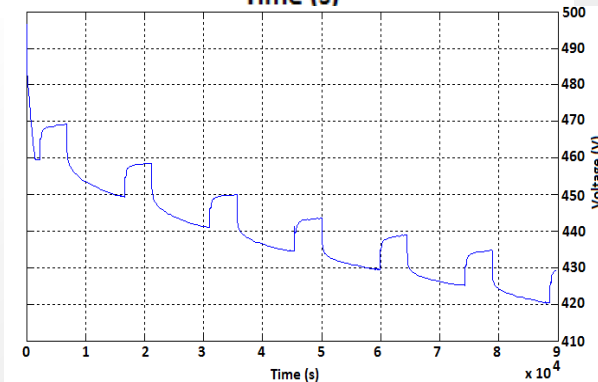
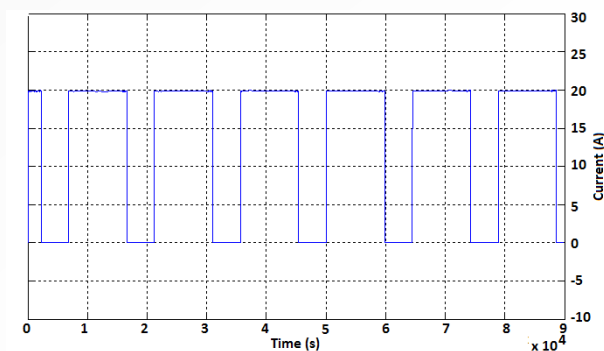
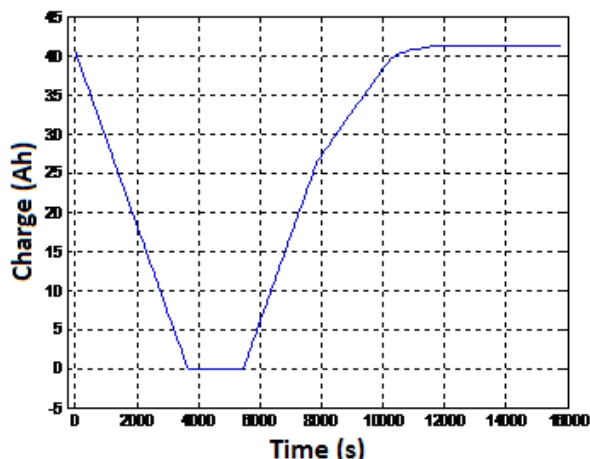
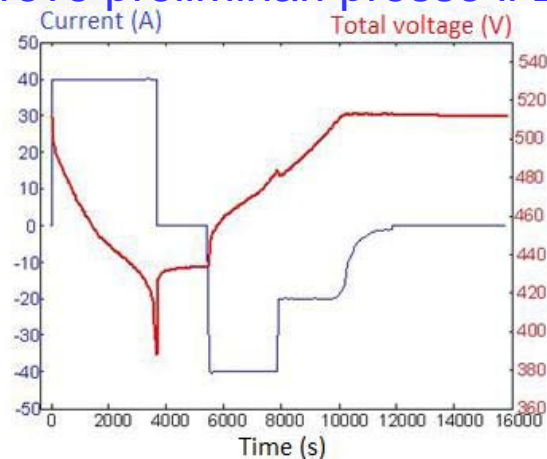
Partecipanti: Enea, UniPisa, EEI, ATB



Dimensionamento del sistema di accumulo sul ciclo di massimo carico dell'impianto

- ✓ Scelta del sistema di accumulo di tipo commerciale
- ✓ Scelta del BMS (Sistema di gestione delle batterie)
- ✓ Installazione e test in Enea
- ✓ Installazione e test presso il partner EEI (Vicenza, costruttore del convertitore)

Prove preliminari presso il Laboratorio batterie del C.R. Casaccia



CONFERMA DEI DATI RIPORTATI NELLE SPECIFICHE DEL
COSTRUTTORE

□ prove presso il Laboratorio di E.E.I. S.r.l.

PROVE CONDOTTE SUL CICLO REALE, META' POTENZA

Numero di cicli	Temperatura delle celle centrali del modulo	Note
1	+40.0°C	
2	+41.0°C	
3 ÷ 4	+44.6°C	
5	+46.0°C	
6 ÷ 7	+50.0°C	Allarme di sovratemperatura

Scambi di dati BMS sistema di gestione convertitore e prove termiche

Dati: Ok

Termiche:

Surriscaldamento del sistema di accumulo

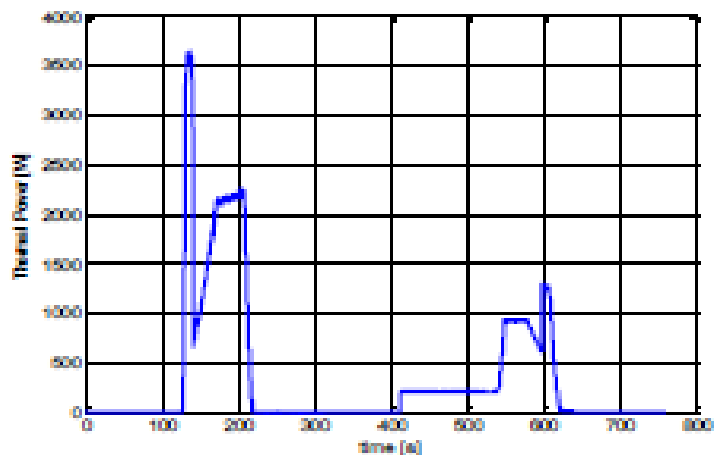
PROVE CONDOTTE SUL CICLO REALE, POTENZA VARIABILE

Limite di potenza	Regime di temperatura delle celle centrali del modulo
1/4	+43.0°C
3/8	+46.5°C

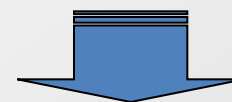
- ❑ Difficoltà di smaltimento termico da parte del case



Potenza dissipata in un ciclo nel contenitore



Il contenitore è pensato per trattenere il calore e non dissiparlo.

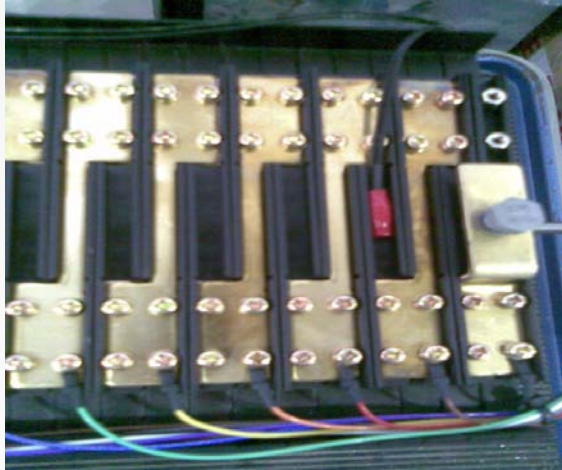


Occorre realizzare un nuovo case.

- Raddoppio della capacità di un pacco
- Raddoppio del numero dei moduli
(da 5 moduli 86,4V – 40Ah => a 10 moduli 43,2V – 80Ah)

- Progettazione di un nuovo contenitore.
 - ✓ Adatto ad usi stazionari
 - ✓ Con possibilità di scambiare calore con l'esterno senza ventilazione aggiuntiva
 - ✓ Previsto comunque di ventilazione aggiuntiva
 - ✓ Trasportabile
 - ✓ Sovradimensionato rispetto alle correnti di lavoro
 - ✓ Rispondente alle normative di sicurezza
 - ✓ Compatibile con i vecchi sistemi di collegamento delle batterie
 - ✓ Compatibile con il montaggio delle schede del sistema di supervisione

Vecchia soluzione



parallelo di 2 celle

Nuova soluzione

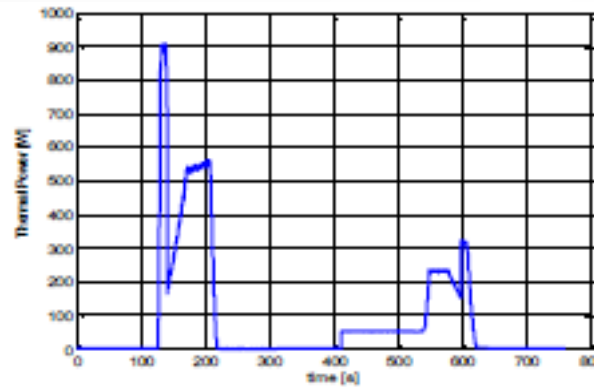
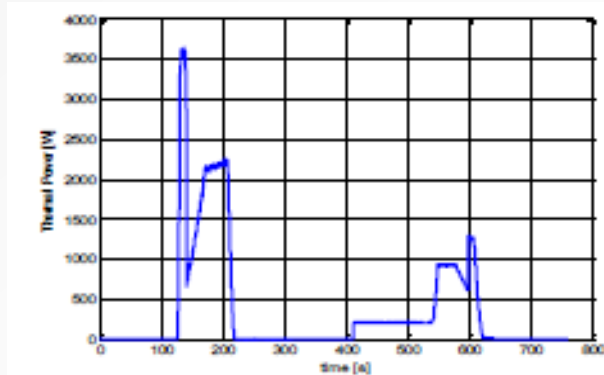


parallelo di 4 celle

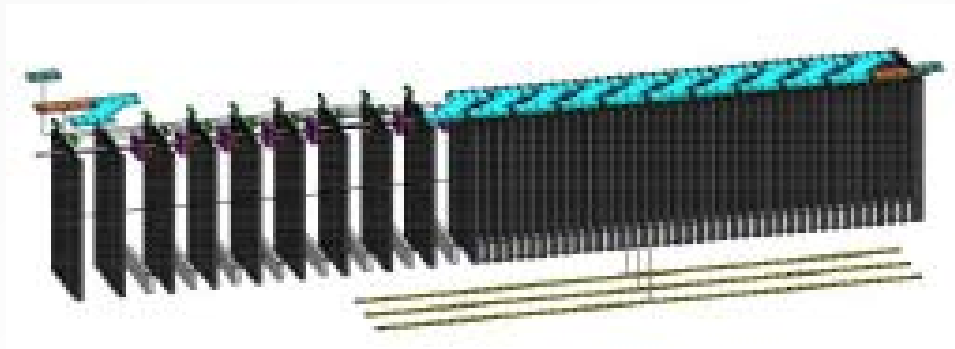
- ✓ Ridotta ad 1/4 la potenza da dissipare
- ✓ Ridimensionate le connessioni per correnti continue molto maggiori di quelle impulsive di esercizio
- ✓ Utilizzate connessioni in rame (vecchio in ottone)
- ✓ Creato uno spazio di 5 mm tra due celle adiacenti per il passaggio dell'aria
- ✓ Le pareti esterne sono state dotate di finestre per la circolazione dell'aria
- ✓ Migliorata la posizione delle termoresistenze
- ✓ Previsto un sistema di ventilazione aggiuntivo

Attività svolta e risultati ottenuti

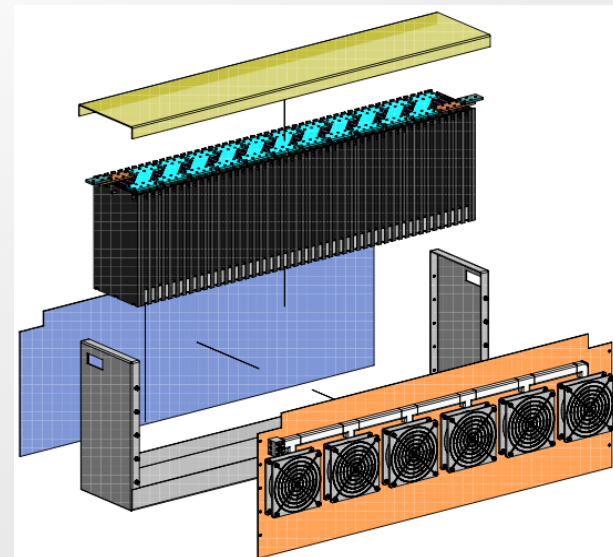
- ottimizzazione della dissipazione termica



il raddoppio
della
capacità
riduce 4
volte il calore
da dissipare



distanziali tra le celle
introduzione di ventilatori



Testing del nuovo sistema

□ il nuovo sistema batterie



Testing del nuovo sistema

Condizioni di lavoro Reali:

Temperatura ambiente 15-20 C Max

Possibilità di ricambio di aria

Correnti di lavoro impulsive Max 350 A (3 s) 200 A (30 s)

sul ciclo più pesante (mai registrato nelle misurazioni Di UniPisa)

Un ciclo salita/discesa = 3 minuti di lavoro 12 pausa

Condizioni di test in Casaccia:

Temperatura ambiente 31 C

Area di lavoro priva di ricambio di aria

Correnti di lavoro impulsive Max 350 A (3 s) 200 A (30 s)

Un ciclo salita/discesa = 3 minuti di lavoro 8 di pausa



Le condizioni di test sono molto più stressanti delle condizioni di lavoro

Risultato del Test

- prove effettuate sul nuovo sistema batterie in Casaccia

Profilo di lavoro - Batt120Cell438VnScarica+Carica.pro

Profilo [Modifica](#)

Descrizione breve:

Descrizione estesa:

Caratteristiche della fase				Condizioni di fine fase			
	Tipologia	A	V/W	Reg.D	Tempo	Capacità	Tensione
1	Pausa			1s	10s		
2	Scarica I cost.	90.0A		1s	180s	5.0Ah	320.0V min
3	Pausa			1s	10s		
4	Carica I cost.	90.0A		1s	180s	5.0Ah	492.0V max

-la temperatura del pacco si è portata da quella ambiente a +43 C massimi dopo circa tre ore di funzionamento

- l'azionamento delle ventole ha permesso di riportare il tutto alle condizioni iniziali senza interrompere l'esercizio

Profilo di lavoro - Batt120Cell438VnSim_profilo_reale .pro

Profilo [Modifica](#)

Descrizione breve:

Descrizione estesa:

Caratteristiche della fase				Condizioni di fine fase			
	Tipologia	A	V/W	Reg.D	Tempo	Capacità	Tensione
1	Pausa			1s	3s		
2	Scarica I cost.	164.0A		1s	5s	0.3Ah	408.0V min
3	Scarica I cost.	249.0A		1s	6s	0.5Ah	408.0V min
4	Scarica I cost.	200.0A		1s	22s	1.3Ah	408.0V min
5	Scarica I cost.	248.0A		1s	23s	1.6Ah	408.0V min
6	Scarica I cost.	160.0A		1s	8s	0.4Ah	408.0V min
7	Scarica I cost.	72.0A		1s	62s	1.3Ah	408.0V min
8	Pausa			1s	62s		
9	Carica I cost.	165.0A		1s	72s	3.3Ah	492.0V max
10	Carica I cost.	183.5A		1s	8s	0.5Ah	492.0V max
11	Carica I cost.	165.0A		1s	21s	1.0Ah	492.0V max
12	Carica I cost.	147.0A		1s	11s	0.5Ah	492.0V max
13	Carica I cost.	202.0A		1s	3s	0.2Ah	492.0V max
14	Carica I cost.	103.5A		1s	6s	0.2Ah	492.0V max
15	Pausa			1s	36s		
16	Scarica I cost.	5.0A		1s	297s	0.5Ah	408.0V min

Attività svolta in parallelo e stato dei lavori

In assenza di normativa specifica di sicurezza:

Studio a cura della Dott.ssa Di Bari: referente rischio chimico, cancerogeno e biologico Enea

Trasporto del sistema batterie presso l'impianto di destinazione finale

Attività da completare (causa ritardo di consegna del convertitore):

- ✓ Installazione
- ✓ Collaudo dell'intero sistema e rifinitura algoritmo di gestione delle batterie
- ✓ Messa in servizio
- ✓ Sperimentazione
- ✓ Dimostrazione dei risultati attesi