



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 e supercondensatori).

Giuseppe Buja
Università di Padova

Angelo Puccetti
ENEA, UTTEI VEBIM

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

Esperienze di laboratorio con accumuli misti batterie/supercondensatori

prof. Giuseppe Buja

ing. Angelo Puccetti



*Università di Padova
Laboratorio di Sistemi Elettrici per l'Automazione e
la Veicolistica*



*ENEA - Centro Ricerche Casaccia, Roma
Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria
Laboratorio Veicoli a Basso Impatto Ambientale*

ORGANIZZAZIONE

- INTRODUZIONE
- VEICOLO DEL CASO DI STUDIO
- DETERMINAZIONE DELL'AUTONOMIA
- AUTONOMIA CON LA BATTERIA
- MODELLO DELLA BATTERIA
- IL SISTEMA MISTO DI ACCUMULO
- AUTONOMIA CON IL SISTEMA MISTO DI ACCUMULO
- PROGETTO E REALIZZAZIONE DEL SISTEMA MISTO DI ACCUMULO
- COLLAUDO DEL SISTEMA
- CONCLUSIONI

INTRODUZIONE

- La diffusione dei veicoli elettrici è rallentata da alcuni fattori come la limitata quantità di energia accumulabile nelle batterie (autonomia)
- Quando la corrente fornita dalla batteria è elevata, la sua resistenza interna produce una sensibile caduta di tensione. Se la tensione ai morsetti della batteria scende al di sotto del minimo valore ammissibile per l'azionamento di trazione, il veicolo si arresta anche se la batteria non è completamente scarica
- L'inconveniente può essere superato assistendo la batteria con un dispositivo di accumulo (nel caso considerato, un dispositivo di accumulo elettrico costituito da un banco di supercondensatori -SC-) in grado di fornire/assorbire gli impulsi di corrente richiesti dal sistema di trazione (sistema misto di accumulo, SMA)
- Questa presentazione illustra le attività svolte per equipaggiare un veicolo elettrico con uno SMA

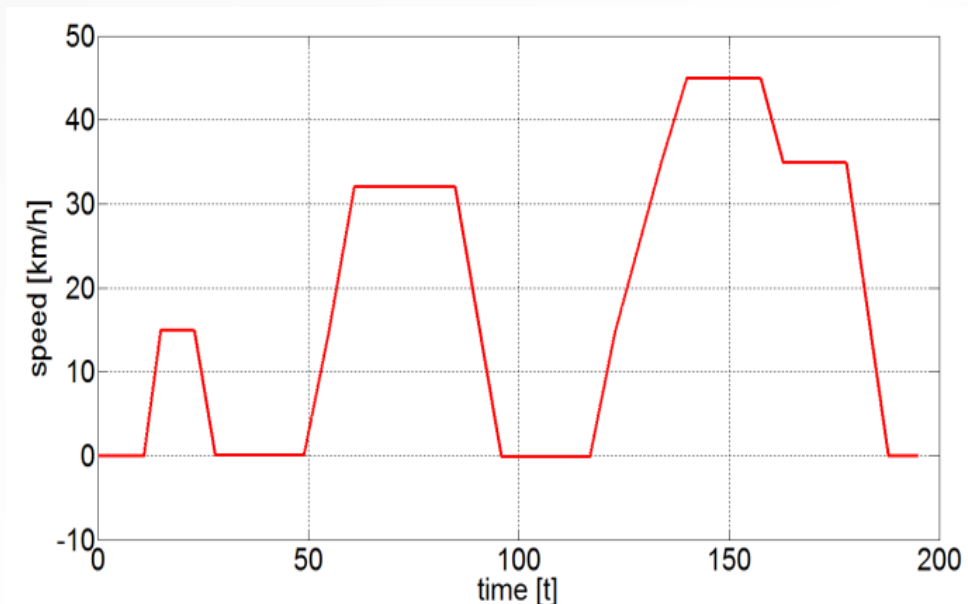
VEICOLO DEL CASO DI STUDIO

- Il veicolo considerato è una city car
- Il sistema di trazione include due azionamenti. Ogni azionamento è formato da un invertitore e da un motore brushless DC a MP ed ha i seguenti valori nominali: tensione 48V, potenza 2.2kW
- Il sistema di accumulo è formato da un pacco batteria al piombo acido (HAZE HZY6-225EV) avente i seguenti valori nominali: tensione 48V, capacità 200A·h. Valore di capacità misurato con corrente di scarica costante di 30A: 191A·h

Quantity	Symbol	Value
Total mass	m	730 kg
Generalized mass (accounts for the reduced mass of wheels and rotors of the motors)	m_{gen}	756 kg
Air drag coefficient	C_d	0.28
Front area	A_f	2.1 m ²
Rolling friction coefficient	K_{rf}	0.01
Traction drive efficiency	η_t	0.82
Traction drive efficiency during regenerative braking	η_b	0.70

DETERMINAZIONE DELL'AUTONOMIA (1)

- L'autonomia del veicolo è stata determinata ipotizzando di percorrere una successione di cicli di guida ECE15. La velocità massima è stata limitata a 45 km/h.
- La forza richiesta per muovere il veicolo lungo il ciclo ECE 15 è stata calcolata in assenza di vento e su percorso piano



$$F = F_d + F_{roll} + am_{gen}$$

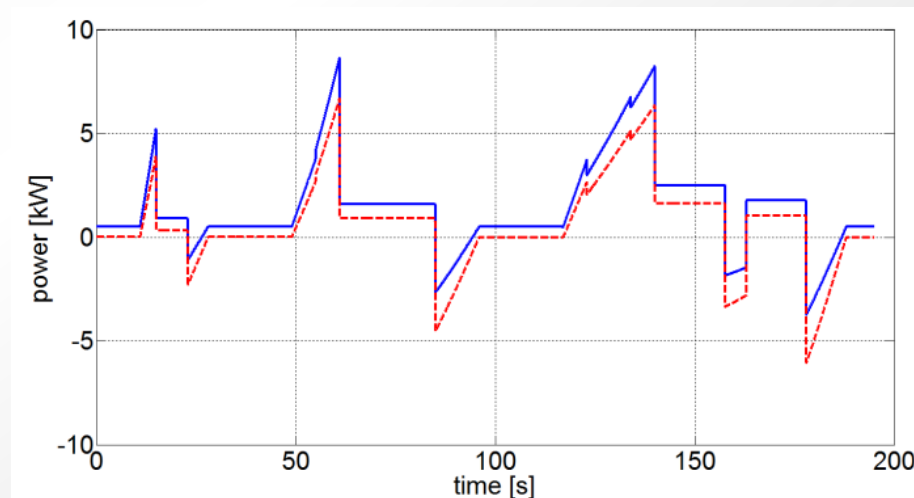
$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_{air} A_f v^2$$

$$F_{roll} = K_{rf} mg$$

DETERMINAZIONE DELL'AUTONOMIA (2)

La potenza elettrica richiesta per muovere il veicolo lungo il ciclo ECE15 è stata calcolata moltiplicando la forza complessiva per la velocità (potenza meccanica) e considerando il rendimento del sistema di trazione durante le fasi di accelerazione e di frenatura a recupero

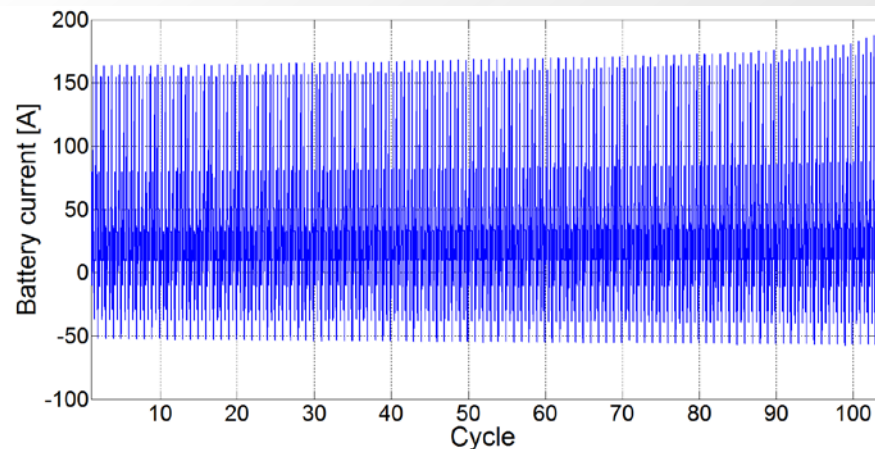
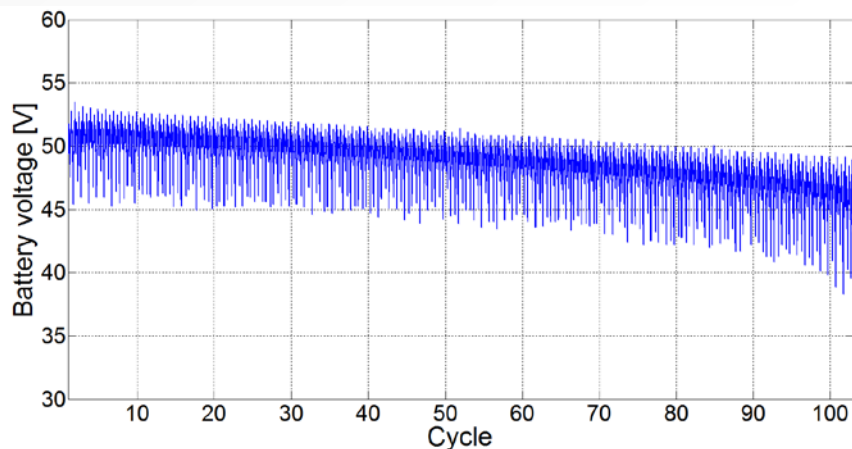
$$P_e = \begin{cases} \frac{P_m}{\eta_t} + P_{aux} & \text{if } P_m > 0 \\ \frac{P_m}{\eta_b} + P_{aux} & \text{if } P_m < 0 \end{cases}$$



Potenza meccanica (curva rossa);
potenza elettrica (curva blu)

AUTONOMIA CON LA BATTERIA

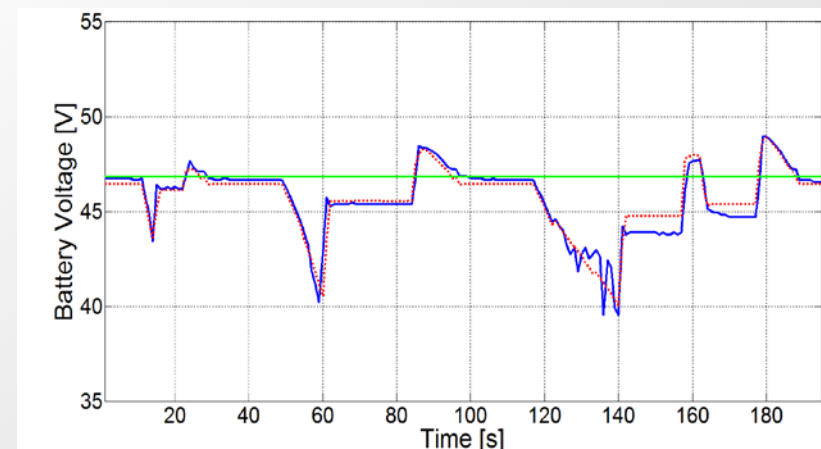
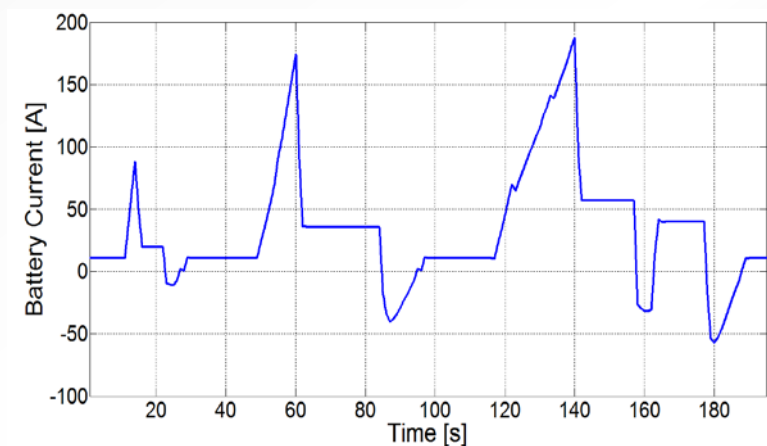
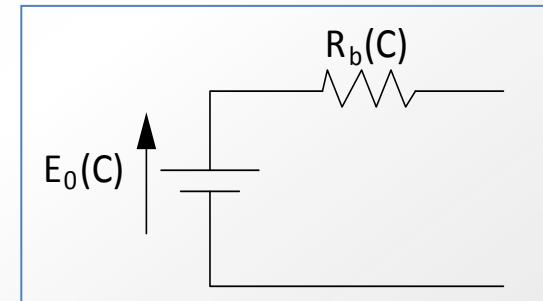
- La batteria del veicolo è stata scaricata su un carico elettrico programmato in modo da riprodurre il profilo di potenza precedentemente trovato per il ciclo ECE15
- La tensione minima ammessa (36V) è stata raggiunta dopo 103 cicli ECE15, corrispondenti ad un'autonomia di 102.4km. La carica fornita della batteria è stata di 164A·h (invece dei 191A·h attesi)



Tensione e corrente di batteria misurate durante il processo di scarica

MODELLO DELLA BATTERIA (1)

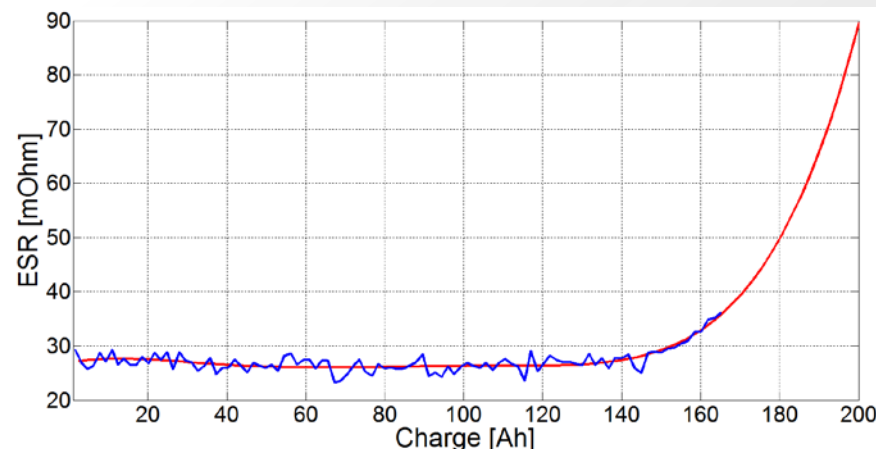
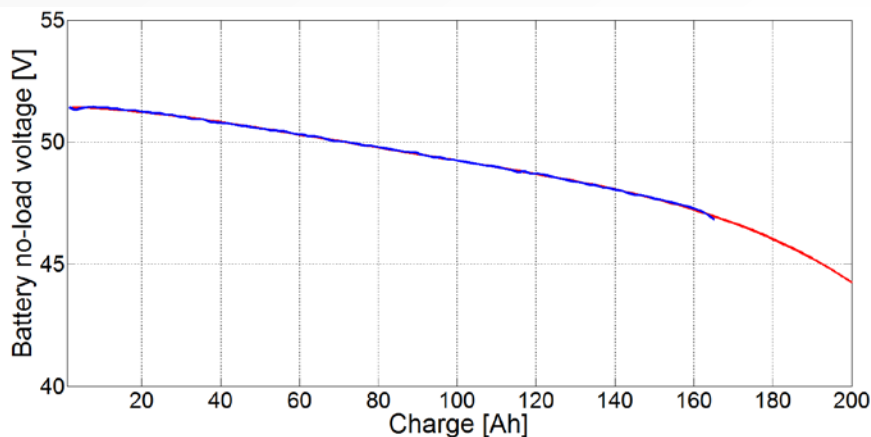
- Per svolgere un'analisi predittiva dell'autonomia del veicolo è stato utilizzato il modello della batteria disegnato qui a fianco. I parametri del modello sono la tensione a vuoto E_0 e la resistenza equivalente serie (ESR) R_b . Essi sono funzione della carica C fornita dalla batteria
- I parametri del modello sono stati identificati in ogni ciclo usando il metodo del minimo errore quadratico



Corrente della batteria durante l'ultimo dei cicli ECE15. Relativi valori di tensione: tensione misurata ai morsetti (curva blu), tensione a vuoto identificata (curva verde), tensione ottenuta dal modello (curva rossa)

MODELLO DELLA BATTERIA (2)

- I valori ottenuti per i parametri del modello cambiano passando da un ciclo a quello successivo. Essi sono stati espressi in funzione della carica fornita dalla batteria mediante una approssimazione polinomiale del quinto ordine



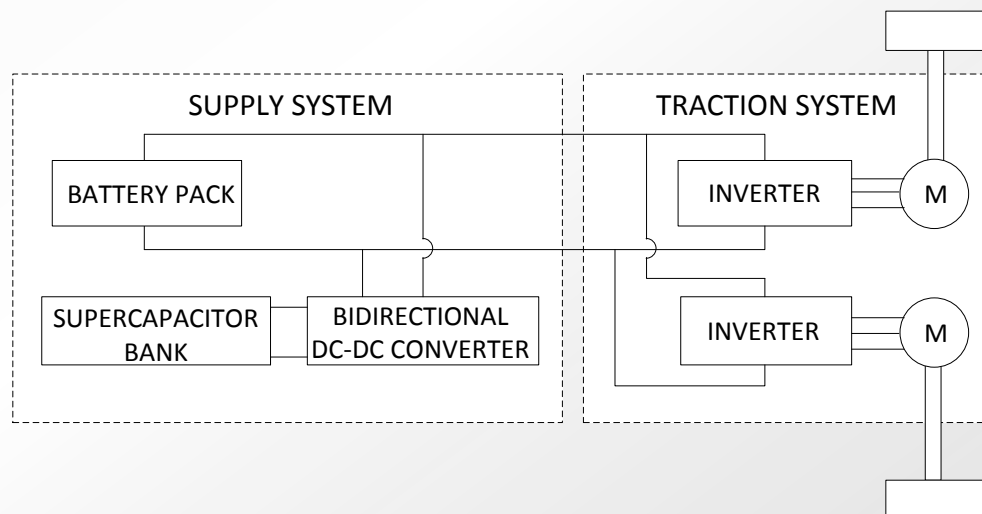
Tensione a vuoto ed ESR della batteria: valori identificati (curva blu) e funzione approssimante (curva rossa)

STIMA DELL'AUTONOMIA CON LA BATTERIA

- Il modello è stato innanzitutto impiegato per predire l'autonomia del veicolo con la batteria, autonomia che era stata precedentemente misurata
- La tensione minima ammessa (36V) è stata raggiunta dopo 104 cicli ECE15, valore che è in ottimo accordo con la misurazione (103 cicli)
- Questo risultato ha rappresentato una validazione del modello

IL SISTEMA MISTO DI ACCUMULO (1)

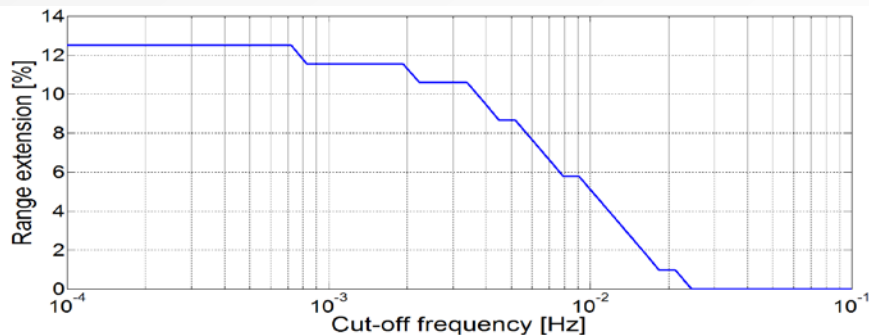
- Lo schema del sistema misto di accumulo è mostrato qui sotto
- Esso assegna alla batteria la fornitura della componente media della corrente assorbita dal sistema di trazione e al banco di SC la fornitura della componente alternata, evitando che gli impulsi di corrente siano forniti dalla batteria e quindi producano impulsi di caduta di tensione sulla ESR



IL SISTEMA MISTO DI ACCUMULO (2)

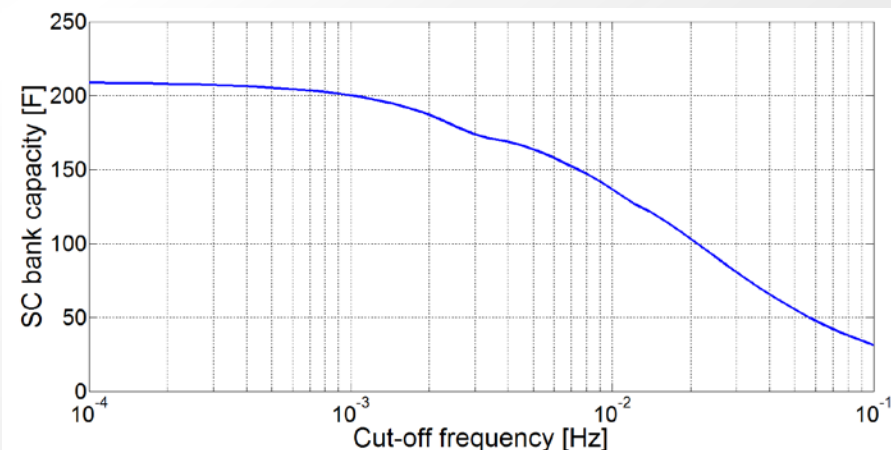
- Per estrarre la componente alternata della corrente assorbita dal sistema di trazione si è utilizzato un filtro passa-alto (soluzione realistica)
- La componente alternata è stata impiegata come riferimento per la corrente fornita dal convertitore bidirezionale CC-CC e quindi dal banco di SC
- L'entità della corrente fornita dal banco di SC dipende dalla frequenza di taglio del filtro
 - Se bassa
 - Elevato contributo del banco di SC, maggiore autonomia
 - Alto valore di capacità del banco di SC, maggior costo dello SMA
 - Se alta
 - Ridotto contributo del banco di SC, minore autonomia
 - Basso valore di capacità del banco di SC, minor costo dello SMA

AUTONOMIA CON LO SMA

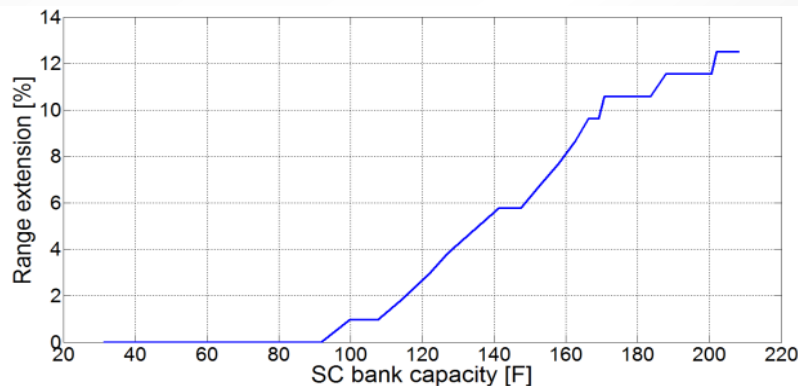


Incremento dell'autonomia in funzione della frequenza di taglio

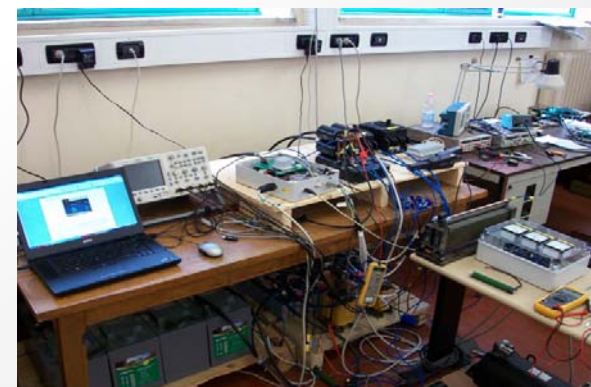
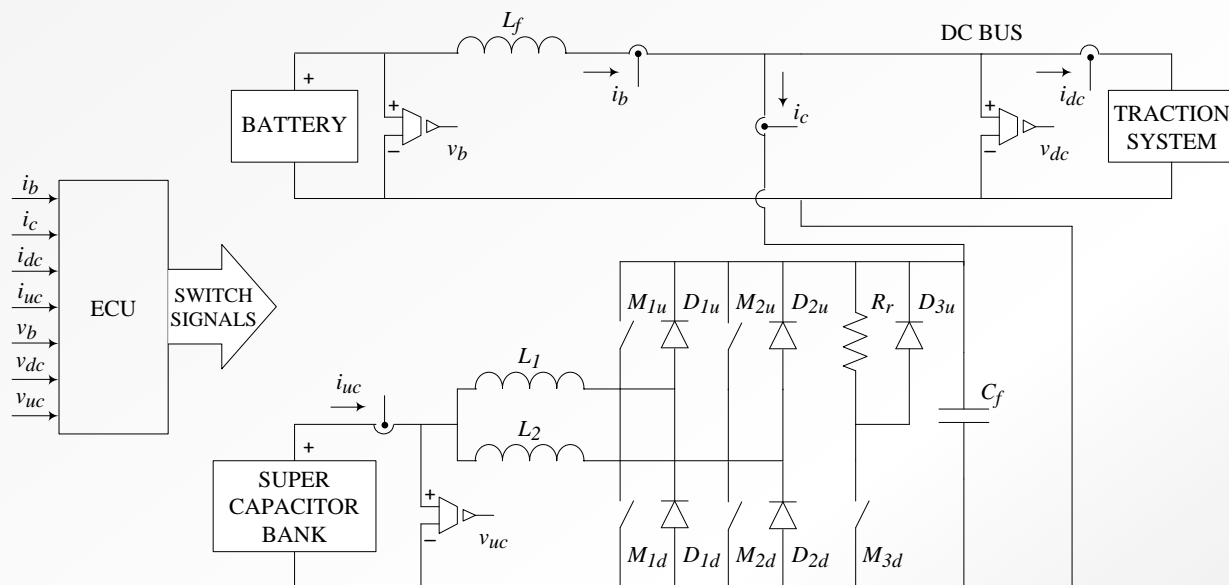
Capacità del banco di SC in funzione della frequenza di taglio



Incremento dell'autonomia in funzione della capacità del banco di SC



PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLO SMA

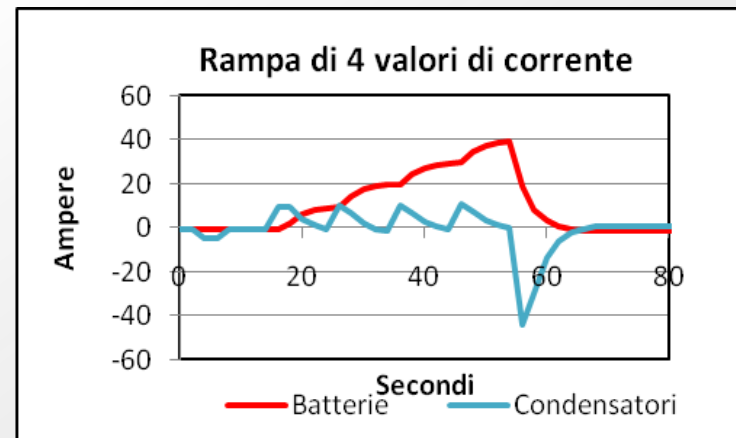
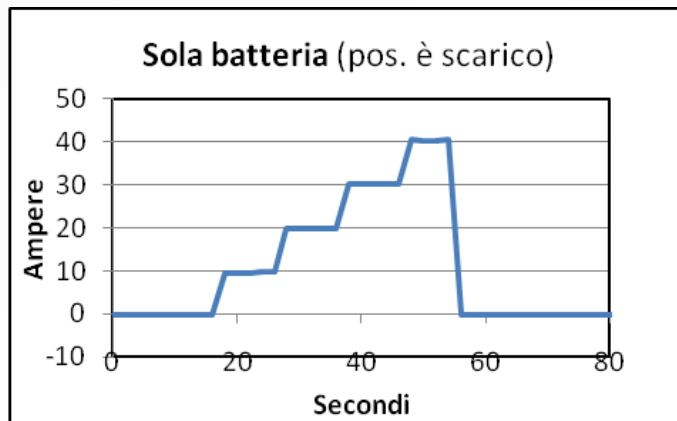


Principali caratteristiche dei componenti dello SMA

Battery nominal voltage	48V
DC-DC converter maximum output current	450A
SC bank capacity	125F
Digital filter cut-off frequency	0.018Hz
DC-DC converter output current loop bandwidth	1kHz

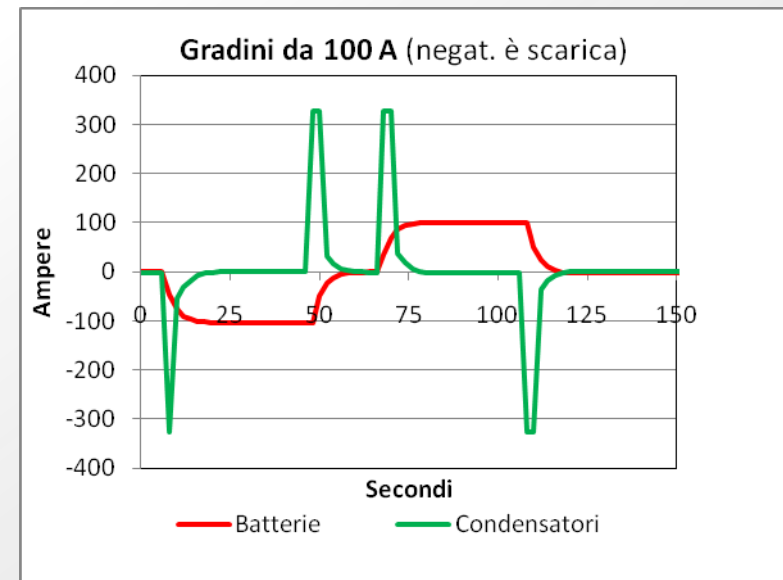
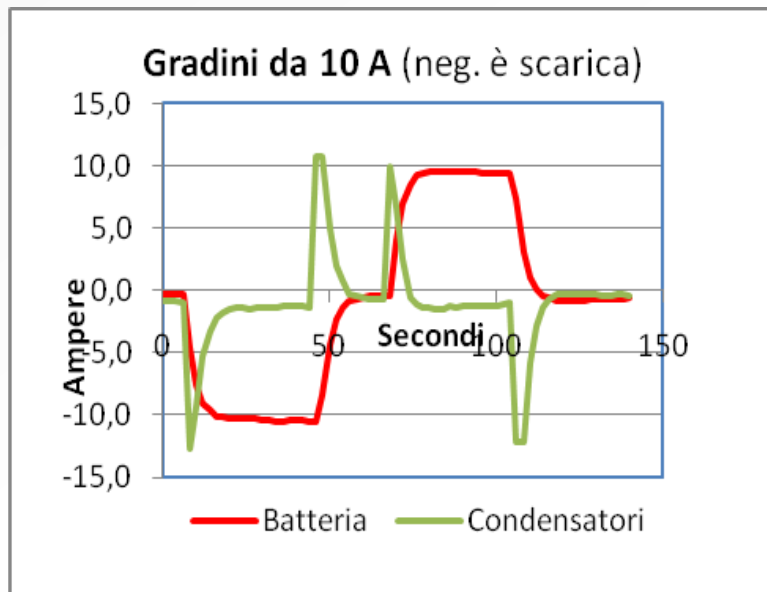
COLLAUDO DEL SISTEMA (1)

- Il sistema completo è stato installato nella sala prove batterie dell'ENEA per verificare la congruità del prototipo alle specifiche. Il carico applicato al sistema è stato uno dei ciclatori di cui è fornita la sala.
- Alcune prove hanno mostrato qualitativamente la funzionalità del sistema, in particolare l'intervento dei supercondensatori a sostegno delle batterie.
- Di seguito è riportato il confronto tra l'erogazione di corrente per una richiesta a gradini. E' stato effettuato il confronto tra il sistema formato da sole batterie e quello completo di batterie e supercondensatori.



COLLAUDO DEL SISTEMA (2)

- Esempio di scarica a gradino seguita da una ricarica di pari intensità
- E' evidente l'intervento dei supercondensatori nei transitori a sostegno delle batterie.
- L'azione dei supercondensatori è più intenso in presenza di intensità di corrente più elevate.



COLLAUDO DEL SISTEMA (3)

- Sono state effettuate prove di scarica completa di comparazione del sistema composto da sole batterie e sistema completo di batterie e supercondensatori
- I risultati di tali prove mostrano un sicuro miglioramento dell'autonomia di percorrenza utilizzando i supercondensatori in appoggio alle batterie
- Le prove di potenza, con correnti limitate a non più di 200 A per motivi tecnici, hanno evidenziato un miglioramento di almeno il 10% della potenza a SOC = 60%
- L'allestimento sperimentale ha sofferto di alcune limitazioni che non hanno permesso l'evidenziazione dei benefici apportati dai supercondensatori
- **Per esempio:**
- *La messa a punto del convertitore al momento delle prove non era ottimizzato sul comportamento del ciclatore*
- *L'erogazione di corrente del ciclatore è inquinata da una componente alternata ad alta frequenza*

CONCLUSIONI

- E' stato studiato l'impatto di uno SMA sull'autonomia di un veicolo elettrico
- Sono stati condotti test sperimentali sulla batteria e sull'autonomia del veicolo con la batteria
- E' stato messo a punto un modello per l'analisi predittiva dell'autonomia di una batteria
- E' stato progettato, realizzato e sperimentato uno SMA
- I risultati sperimentali confermano le aspettative

Grazie per l'attenzione