



Ricerca di Sistema elettrico

Prove sperimentali e ciclo semplificato di un sistema di accumulo per una tramvia

Massimo Ceraolo, Romano Giglioli, Giovanni Lutzemberger



Università di Pisa
DESTEC

PROVE SPERIMENTALI E CICLO SEMPLIFICATO DI UN SISTEMA DI ACCUMULO PER UNA TRAMVIA

Massimo Ceraolo, Romano Giglioli, Giovanni Lutzemberger (DESTEC – Università di Pisa)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

Obiettivo: Analisi sperimentali di identificazione di cicli rappresentativi e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico

Responsabile del Progetto: Mario Conte, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Dimensionamento di un sistema di accumulo per una tramvia con integrazione dell'alimentazione da fonte fotovoltaica"

Responsabile scientifico ENEA: Manlio Pasquali

Responsabile scientifico Università di Pisa - DESTEC: Romano Giglioli

Indice

| | |
|--|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 ANALISI DELLE PRESTAZIONI DELLA CELLA | 5 |
| 2.1 DEFINIZIONE DEI TEST..... | 5 |
| 2.2 RISULTATI DELLE PROVE PRESTAZIONALI (PERFORMANCE TEST) | 7 |
| 3 PROVE DI VITA A MICRO-CICLI | 9 |
| 4 CONCLUSIONI..... | 11 |
| 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 12 |
| 6 CURRICULA DEL GRUPPO DI LAVORO | 12 |

Sommario

Il dimensionamento dell'accumulo descritta nel documento "Dimensionamento di un sistema di accumulo per una tramvia con integrazione dell'alimentazione da fonte fotovoltaica" (RDS/PAR/2014/174) ha richiesto anche una validazione di tipo sperimentale in relazione ai cicli corrente-tempo derivanti dal nuovo assetto del sistema, con particolare attenzione alla stima della vita utile del sistema di accumulo. Le attività hanno previsto quindi anche una valutazione sperimentale del massimo numero di micro-cicli tollerabile dalle celle al litio ad alta potenza, sotto le citate condizioni di impiego. Per la definizione dei cicli si è fatto riferimento ai risultati delle simulazioni e alle misure in campo sulla tramvia di Bergamo. L'attività di sperimentazione in laboratorio di seguito presentata è stata svolta presso le strutture dell'Università di Pisa, che si è dedicata a test di vita su un ciclo idealizzato particolarmente semplificato, meno rappresentativo degli effettivi profili di utilizzo, descritti da ENEA, ma più idoneo al fine di trarre indicazioni più generalizzate. Infatti i profili descritti nel presente report sono rappresentativi in senso più generalizzato del caso della tramvia, e sono riferibili alle sollecitazioni cui sono soggetti gli accumuli impiegati in altre applicazioni veicolari, quali ad esempio i veicoli ibridi. In più si deve considerare che la simmetria di impiego in carica e scarica, unitamente ai picchi di corrente imposti, rendono cautelativi i risultati raggiunti, poiché rappresentativi di sollecitazioni più severe rispetto a quelle riscontrate nel caso della tramvia.

1 Introduzione

La condizione di impiego tipicamente considerata per un sistema di accumulo elettrochimico è quella di assorbire o erogare correnti ridotte per estesi intervalli di tempo, tipicamente minuti o ore. In realtà, negli ultimi anni tali sistemi sono stati sempre più considerati per un utilizzo "in potenza", nel senso di dover tollerare correnti elevate per ridotti intervalli di tempo [1]. In effetti svariate applicazioni si basano su un impiego dell'accumulo di questo tipo, come ad esempio i veicoli ibridi o i sistemi tramviari.

A questo proposito, come del resto riportato anche nella relazione "Dimensionamento di un sistema di accumulo per una tramvia con integrazione dell'alimentazione da fonte fotovoltaica" (RDS/PAR/2014/174), il sistema di accumulo installato in corrispondenza di una o più SSE (SottoStazioni Elettriche delle rete di alimentazione della tramvia) è soggetto a elevati picchi di corrente, dovuti alle fasi di frenatura o accelerazione dei convogli, fino a $10 C_n$ (capacità nominale della batteria di accumulo) per durate attorno ai 10-20 secondi. Vi è dunque la necessità di valutare se l'accumulo sia effettivamente in grado di sopportare tali sollecitazioni, in particolare relativamente alla condizione di carica. Infatti, i costruttori impongono limiti in condizioni di carica solitamente più ridotti dei corrispondenti in condizioni di scarica.

Un ulteriore problema riguarda la vita delle celle. Infatti, sono solitamente considerati cicli completi di carica-scarica, a correnti piuttosto basse, cui corrisponde una durata di alcune migliaia di cicli [2, 3]. D'altra parte, pochi dati sono disponibili in letteratura relativamente a questo tipo di utilizzo, caratterizzato da cicli di carica-scarica caratterizzati da elevati valori di corrente, e ridotte profondità di scarica. Nel seguito, tali sollecitazioni saranno definite "micro-cicli", caratterizzate da fluttuazioni della capacità inferiori al 5%, e ampiezze superiori ad almeno $5 C_n$.

A partire da questo, l'attività si è focalizzata sulla valutazione di processi di invecchiamento per batterie ad alta potenza soggette a micro-cicli. L'obiettivo è stato quello di valutare se sotto tali sollecitazioni sia possibile effettuare diverse centinaia di migliaia di micro-cicli, così da verificare che l'invecchiamento sia di gran lunga superiore a quanto atteso, raggiungendo il termine dell'applicazione.

2 Analisi delle prestazioni della cella

2.1 Definizione dei test

Il dispositivo in prova è una cella al litio ad alta potenza tra le più performanti, avente una capacità nominale di 13.0 Ah. Le performance indicate dal costruttore indicano correnti massime continuative in scarica fino a $8 C_n$, impulsive fino a $15 C_n$, espresse sempre in multipli della capacità nominale. Dalla documentazione del costruttore, la batteria appare dunque orientata ad applicazioni a alta potenza. D'altra parte, non è chiaro per quanto tempo scariche impulsive possano essere mantenute senza danneggiamento del dispositivo, né quali sono i limiti di corrente impulsiva in carica, poiché solo quelli continuativi sono menzionati, rispettivamente pari a $3 C_n$. Nessuna indicazione anche per quel che riguarda la vita a cicli, in caso di ridotte profondità di scarica. In conclusione è stata programmata una intensa serie di test sperimentali, al fine di valutare le performance dell'accumulo nell'ambito di applicazioni ad alta potenza. A questo proposito, una iniziale campagna di test è stata effettuata ai fini di caratterizzare le performance del dispositivo.

La sollecitazione ipotizzata per l'accumulo dovrebbe dunque riprodurre la sollecitazione tipica per applicazioni orientate alla potenza. Conseguentemente, i seguenti profili tipo sono stati utilizzati:

- A. Cicli ripetuti a ridotta profondità di scarica, effettuati a corrente costante senza oltrepassare i limiti di temperatura del dispositivo. Questa è la condizione più generale possibile per applicazioni ad alta potenza.

B. Cicli ripetuti a ridotta profondità di scarica, effettuati a corrente linearmente variabile. Questa sollecitazione è assai più rappresentativa degli stress cui è effettivamente sottoposto l'accumulo per applicazioni veicolari.

A questo proposito, una singolo ciclo di tipo A (corrente costante) è mostrato in Figura 1: esso è costituito da una fase di carica a corrente costante, una fase di pausa, una fase di scarica sempre a corrente costante, con i seguenti vincoli:

- Durata e ampiezza delle fasi di carica (ab) e scarica (cd) sono le stesse. I valori sono stati scelti per mantenere la cella al litio all'interno dei valori di tensione limiti ammessi (4.2-2.7 V). Le ampiezze sono state scelte rispettivamente pari a $5C_n$, $7.5C_n$, $10C_n$, mentre le durate corrispondenti sono pari a 30, 20, 10 secondi.
- La fase di pausa ha durata fissa di 20 secondi.

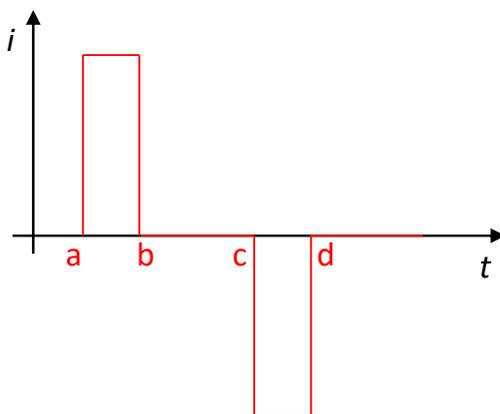


Figura 1. Sollecitazione di tipo A

Per quanto riguarda il test di tipo B invece, sia la fase di carica che quella di scarica sono variabili linearmente, sempre distanziate da una fase di pausa. Un singolo ciclo di tipo B è mostrato in Figura 2. In particolare:

- Durata e valori di picco delle fasi di carica (ab) e scarica (cd) sono le stesse. I valori sono stati scelti per mantenere la cella al litio all'interno dei valori di tensione limiti ammessi (4.2-2.7 V). Le correnti di picco sono state scelte rispettivamente pari a $10C_n$, mentre le durate corrispondenti sono pari a 20 e 10 secondi.
- La fase di pausa ha durata fissa di 20 secondi.

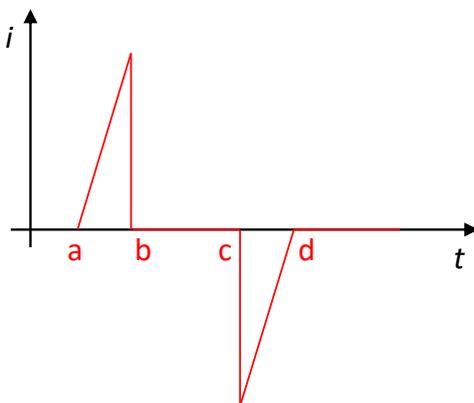


Figura 2. Sollecitazione di tipo B

Il test di tipo B è maggiormente rappresentativo del tipo A ai fini di una caratterizzazione realistica per applicazioni di tipo veicolare. In effetti, ipotizzando fasi ad accelerazione costante, la potenza valutata alla ruota (o al cerchione nel caso ferroviario) ha andamento triangolare. Risalendo nella catena dell'apparato di propulsione dunque, il medesimo profilo di potenza caratterizzerà l'azionamento e, più a monte, eventuali dispositivi di accumulo. In prima approssimazione, per risalire dal profilo di potenza al profilo di corrente, si considera un valor medio di tensione costante.

2.2 Risultati delle prove prestazionali (performance test)

I test di tipo A e B sono stati effettuati testando la cella al litio in una camera climatica, alla temperatura ambiente di 22°C. Il dispositivo in prova è mostrato in Figura 3, mentre un esempio relativo al profilo di corrente misurato nel caso di sollecitazioni a corrente costante pari a $10C_n$ e durate di 10 secondi è mostrato in Figura 4.



Figura 3. Dispositivo in prova

Come è possibile osservare la differenza di temperatura tra la cella e l'ambiente di prova tende a divenire costante dopo pochi cicli, e raggiunge nel caso mostrato il valore massimo di 36°C. Le tensioni si sono sempre mantenute entro i limiti, rispettivamente pari a 4.0 V e 3.3 V, dunque al di sotto dei limiti suggeriti dal costruttore.

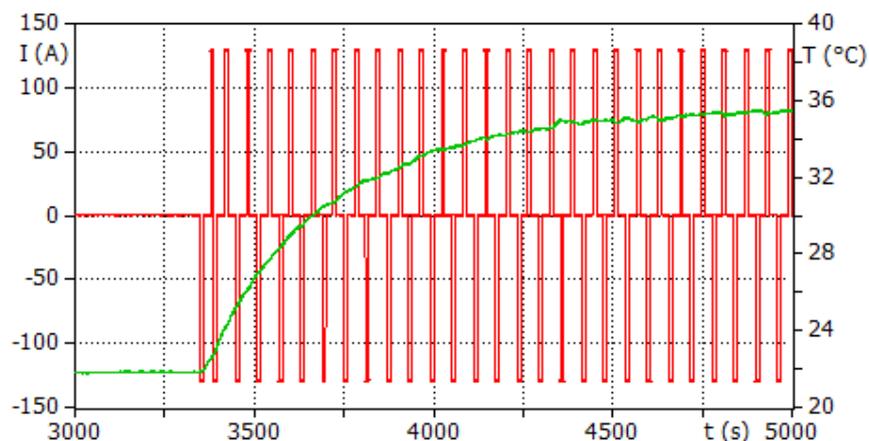


Figura 4. Test di tipo A, profilo di corrente (rosso) e temperatura (verde) in funzione del tempo

I risultati sono riassunti in Tabella 1, nella quale è riportato il salto termico ΔT rispetto alla temperatura ambiente di riferimento di 22°C, e la massima variazione di stato di carica ΔSOC corrispondente al singolo impulso di corrente di carica (o scarica).

Tabella 1. Principali caratteristiche della batteria senza (a sinistra) e con (a destra) interposizione di DC/DC

| I/C_n (A/Ah) | DURATION (s) | ΔSOC (%) | ΔT (°C) |
|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| 5 | 30 | 4.1 | 4.7 |
| 7.5 | 10 | 2.1 | 6.2 |
| 10 | 10 | 2.8 | 12.3 |
| 10 | 20 | 5.6 | 15.5 |

I risultati mostrano che anche la temperatura rimane entro i limiti, visto che la massima temperatura ammessa per le celle in questione è di 60°C. Tra l'altro, nel caso della corrente di carica, la sollecitazione alla massima corrente (10C_n) mantenuta per 20 secondi è da considerarsi particolarmente severa, eccedendo di oltre tre volte (3C_n) il limite suggerito dal costruttore.

Successivamente sono state valutate sollecitazioni a micro-cicli anche di tipo B, nelle medesime condizioni di di prova utilizzate precedentemente. Anche in questo caso, si mostra un esempio relativo al profilo di corrente corrente misurato, riportato in Figura 5, assieme ai risultati riassunti in

Tabella 2.

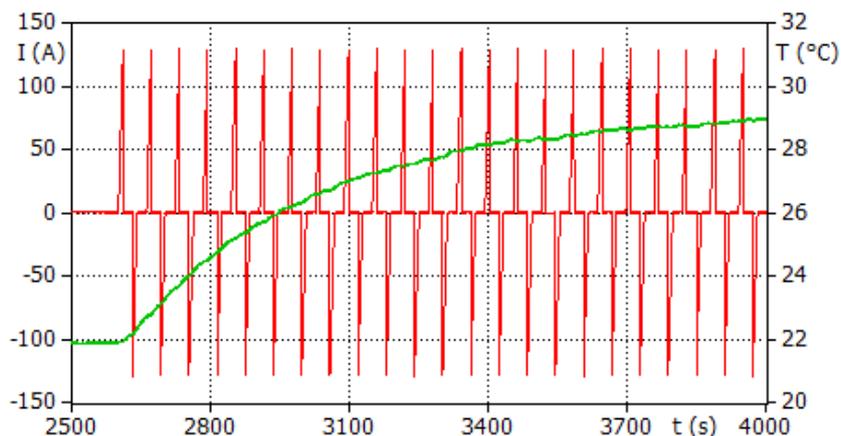


Figura 5. Test di tipo B, profilo di corrente (rosso) e temperatura (verde) in funzione del tempo

Come visibile, i profili di corrente variabili linearmente, a parità di corrente di picco e durata, causano comprensibilmente sovra-temperature più ridotte rispetto al caso precedente. Dunque, eccessivi surriscaldamenti vengono evitati anche in questo caso.

Tabella 2 Principali caratteristiche della batteria senza (a sinistra) e con (a destra) interposizione di DC/DC

| I/C_n (A/Ah) | DURATION (s) | ΔSOC (%) | ΔT (°C) |
|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| 10 | 10 | 1.4 | 7.6 |
| 10 | 20 | 2.8 | 12.0 |

Rimane tuttavia da valutare, garantita la performance, se il ripetersi di tali sollecitazioni abbiano una qualche influenza sulla vita delle celle.

3 Prove di vita a micro-cicli

Valutazioni della durata della cella sottoposta a micro-cicli sono state condotte avendo a riferimento il test di tipo B, caratterizzato da corrente linearmente variabile, come mostrato in Figura 2, essendo molto più caratterizzante delle effettive sollecitazioni cui è sottoposto l'accumulo. Il test è composto dalla ripetizione di micro-cicli, come visibile in Figura 7 e Figura 7, secondo i seguenti criteri:

- Prima dell'inizio del test, la cella è stata sottoposta a 5 cicli di carica-scarica completi di allenamento.
- Sono stati effettuati circa 1200 micro-cicli del tipo mostrato in Figura 2, tipicamente divisi in tre sessioni da 400 micro-cicli ciascuna.
- Prima dell'inizio di ciascuna sessione, una fase di carica a tensione costante pari a 3.6 V è stata effettuata, per compensare eventuali derive rispetto allo stato di carica di riferimento. La corrispondenza tra tensione a circuito aperto e stato di carica è discussa in [4]. Il valore di tensione di riferimento è stato scelto per non oltrepassare i valori limite di tensione, in corrispondenza del raggiungimento dei valori di picco della corrente. Infatti, come visibile dalla Figura 7, a regime la banda di tensione rimane sempre all'interno dei limiti ammessi.
- Prima dell'inizio del test, e dopo ogni 10000 micro-cicli, è stato effettuato un test di carica-scarica completo alla temperatura ambiente di 22°C, al fine di verificare la quantità di carica effettivamente erogabile dalla cella. La quantità di carica è stata calcolata in una fase di scarica a corrente costante ($1C_n$) integrando la corrente nel tempo fino al raggiungimento della tensione limite inferiore (2.7 V), partendo da cella completamente carica (4.2 V).

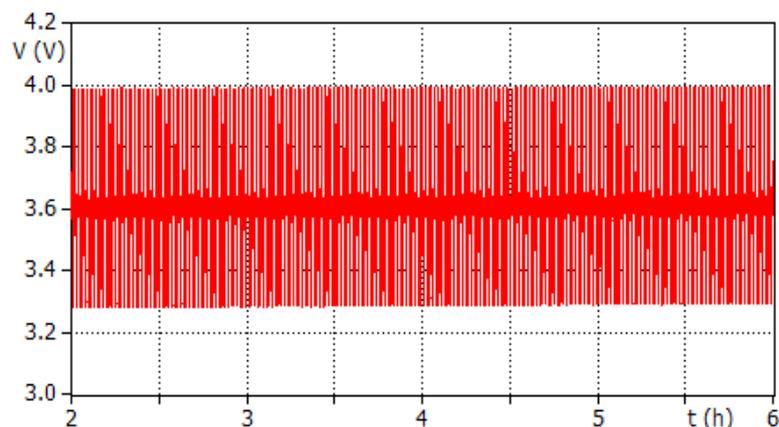


Figura 6. Profilo di tensione durante una parte di sessione della prova di vita a micro-cicli

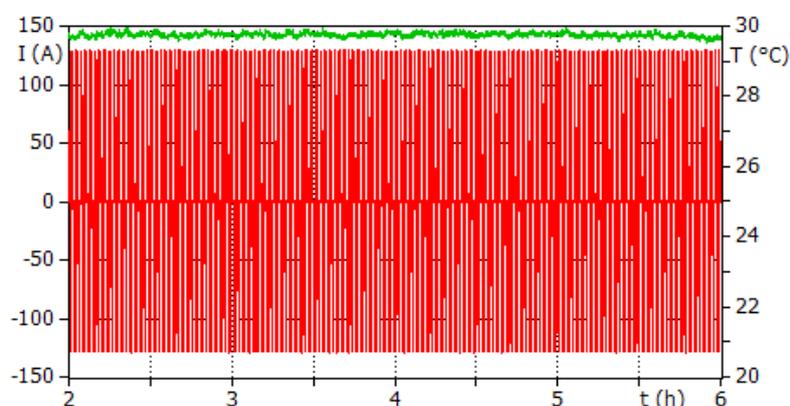


Figura 7. Profilo di corrente (rosso) e temperatura (verde) durante una parte di sessione della prova di vita a micro-cicli

Dopo circa 200 000 micro-cicli, come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, la capacità è risultata sostanzialmente invariata, mantenendosi attorno ai 12 Ah. Anzi è addirittura possibile osservare un leggero incremento, a testimonianza che la cella si trova ancora in condizioni di “allenamento”.

Tabella 3. Risultati di vita a micro-cicli, verifica di capacità

| Capacity check | micro-cycles | Extracted Capacity (Ah) |
|----------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 12.0 |
| 2 | 12290 | 12.0 |
| 3 | 22390 | 12.0 |
| 4 | 32365 | 12.0 |
| 5 | 42515 | 12.0 |
| 6 | 52265 | 12.0 |
| 7 | 62465 | 12.0 |
| 8 | 72065 | 12.0 |
| 9 | 82240 | 12.0 |
| 10 | 92410 | 12.1 |
| 11 | 102075 | 12.1 |
| 12 | 112490 | 12.1 |
| 13 | 121890 | 12.1 |
| 14 | 132375 | 12.1 |
| 15 | 142075 | 12.0 |
| 16 | 151875 | 12.0 |
| 17 | 162665 | 12.1 |
| 18 | 172440 | 12.1 |
| 19 | 182430 | 12.2 |
| 20 | 192540 | 12.2 |
| 21 | 203050 | 12.2 |
| 22 | 212160 | 12.2 |

Si può pertanto concludere che questo tipo di sollecitazione ha avuto un impatto trascurabile sulla vita della cella, in particolar modo rispetto a cicli di carica e scarica completi, effettuati a correnti più ridotte.

In definitiva, l'accumulatore è stato testato per centinaia di migliaia di micro-cicli senza variazione della capacità, il che fa prevedere che sia possibile impiegarlo fino al milione di micro-cicli, aspetto che consentirebbe di avere una vita utile uguale a quella dell'intero impianto.

4 Conclusioni

Il presente documento ha dunque mostrato come celle al litio attualmente in commercio siano in grado di soddisfare i requisiti di applicazioni ad alta potenza, in quanto:

- Sono tollerate correnti di carica e scarica fino a $10 C_n$ con incrementi termici del tutto contenuti.
- L'accumulatore è stato testato per centinaia di migliaia di micro-cicli senza variazione della capacità, il che fa prevedere che sia possibile impiegarlo fino al milione di micro-cicli.
- Una vita a micro-cicli pari al milione consentirebbe all'accumulo di coprire l'intera vita utile dell'impianto, stimato in 10-15 anni.

5 Riferimenti bibliografici

1. M. Ceraolo, G. Lutzemberger, M. Marracci: "High power Lithium Batteries usage in hybrid vehicles", VPPC Conference, 2010 IEEE, 1-3 Sept. 2010, Lille.
2. Kokam documentation: http://www.kokam.com/english/product/battery_main.htm
3. A123 Systems documentation: <http://www.a123systems.com/solutions-transportation-passenger-vehicles.htm>
4. M. Ceraolo, T. Huria, G. Lutzemberger, "Experimentally determined models for high power lithium batteries", *SAE Technical Paper*, 2011-01-1365, 2011.

6 Curricula del gruppo di lavoro

Stefano Barsali (1969)

Stefano Barsali ha conseguito laurea e dottorato di ricerca in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Pisa nel 1994 e 1998 rispettivamente. Dal 2000 è stato ricercatore dall'ottobre 2006 è professore associato presso l'Università di Pisa dove è attualmente titolare degli insegnamenti di "Sistemi di produzione dell'energia elettrica" e "Dinamica e controllo dei sistemi elettrici per l'energia" del corso di laurea magistrale in Ingegneria Elettrica. Dal dicembre 2012 è presidente del Consiglio di Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica.

Nel dicembre 2013 ha conseguito l'abilitazione scientifica nazionale alle funzioni di professore universitario di prima fascia nel settore concorsuale 09/E2 – Ingegneria dell'Energia Elettrica. Svolge la propria attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa. Dal 2004 al 2008 ha svolto la funzione di segretario dello Study Committee C6 CIGRÉ su "Distribution Systems and Dispersed Generation" ed è stato membro di due task force CIGRÉ ed attualmente partecipa ai lavori del WG C6.30 "Impact of battery energy storage systems on distribution networks". I principali temi della ricerca svolta più di recente sono:

- Generazione distribuita dell'energia elettrica e fonti rinnovabili.
- Sistemi di accumulo elettrochimico ed applicazioni in veicoli a propulsione ibrida.
- Riaccensione del sistema elettrico a seguito di black-out.

Tale attività è stata condotta sia in collaborazione con altre Università (anche nell'ambito di progetti PRIN) che con enti esterni (ENEL, CESI, AEI, GRTN/TERNA, CIGRÉ, ecc.).

Fabio Bonsignori (1960)

Fabio Bonsignori ha conseguito il diploma di perito industriale, specializzazione Elettrotecnica, presso l'I.T.I.S "L. da Vinci" Pisa, nell'a.s. 1978/79. Dal 1/06/1980 al 31/12/1988 ha lavorato come dipendente della ditta Montesi snc, settore impianti elettrici, con la qualifica di operaio. Dal 2/01/1989 è in servizio presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni-DESTEC (ex Dipartimento dei Sistemi Elettrici e dell'Automazione DSEA) dell'Università di Pisa, con la qualifica di dipendente tecnico di Livello D1. Successivi corsi frequentati: "Sicurezza, prevenzione e formazione sul luogo di lavoro", presso Università di Pisa, Corso di Lingua inglese (Livello elementare e pre-intermedio).

Massimo Ceraolo (1960)

Ricercatore universitario dal 1992 professore Ordinario di Sistemi Elettrici per l'Energia dal 2002 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa. E' docente degli insegnamenti di Sistemi Elettrici di Bordo presso l'Università di Pisa e presso l'Accademia Navale di Livorno. La sua attività di ricerca nell'ultimo decennio si è prevalentemente sviluppata nel settore dell'accumulo elettrochimico dell'energia, e dei veicoli a propulsione elettrica e ibrida. Su questi ultimi temi stato autore negli ultimi 10-15 anni di oltre 40 pubblicazioni, prevalentemente a carattere internazionale, di cui si allegano i riferimenti. Attualmente coordina lo sviluppo di un veicolo a propulsione elettrica alimentato a fuel-cell ad idrogeno. E' presidente

del Corso di Dottorato in Veicoli Terrestri e Sistemi di Trasporto e membro del Comitato di Presidenza della Commissione Veicoli Elettrici Stradali.

Romano Giglioli (1951)

Nato a San Gimignano (SI) il 02/06/1951, laureato con lode in Ingegneria Elettrotecnica nel 1976, nello stesso anno ha ricevuto il premio di Economia e Tecnica dell'Energia "G.Levi Cases". Dal 1994 è Professore Ordinario e ricopre la cattedra di "Sistemi Elettrici per l'Energia e tecnica ed Economia dell'energia".

Attività di ricerca

Nell'arco di più di trenta anni di attività nel settore della ricerca, in collaborazione con strutture di ricerca pubbliche e private, sia nazionali che internazionali, ha contribuito, con studi teorici e sperimentali, all'innovazione e allo sviluppo di sistemi e dispositivi per la produzione, trasporto ed accumulo (in particolare elettrochimico) dell'energia elettrica e dei sistemi di conversione energetica, nonché dei sistemi di trasporto con propulsione elettrica ed ibrida. L'attività è testimoniata da oltre un centinaio di pubblicazioni, dalla titolarità di alcuni brevetti utilizzati nell'ambito dei sistemi elettrici per l'energia ed in quelli di conversione energetica e dalla realizzazione di numerosi sistemi e dispositivi prototipali.

Tale attività è stata ed è sviluppata anche come responsabile di numerosi contratti di ricerca e coordinatore di gruppi di lavoro nell'ambito dei Sistemi per l'Energia e di quelli per il Trasporto.

Incarichi direttivi nell'ambito dell'Amministrazione Universitaria

Dal 1995 al 2002 ha assunto l'incarico di Direttore del Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione dell'Università di Pisa. Dal 2005 al 2009 è stato Direttore del Master post laurea "Pianificazione e gestione di sistemi per l'energia da fonti rinnovabili", istituito dall'Università di Pisa con ENEL Produzione, CONFINDUSTRIA, Kyoto Club, Legambiente. Dal 2006 è nel comitato direttivo del consorzio Interuniversitario CRIBE per la ricerca sulle biomasse ad uso energetico, che ha contribuito a costituire. Dal 2007 è nel comitato direttivo del consorzio Nazionale Interuniversitario ENSIEI per la ricerca sui Sistemi per l'Energia, che ha contribuito a costituire. Dal gennaio 2007 è membro del Consiglio di Amministrazione dell'Università di Pisa.

Incarichi in strutture esterne all'Università

Dal 2003 al 2009 è membro del Consiglio di Amministrazione della società ITALCERTIFER (del gruppo Ferrovie dello Stato), società per la ricerca nell'ambito dei sistemi di trasporto e per l'omologazione dei mezzi di trasporto ferroviario. Dal 2005 al 2008 è stato delegato italiano nel mirror europeo per le "smart grids". È coordinatore scientifico nell'ambito del Consorzio Regionale per l'energia CET, di cui è stato promotore. Dal maggio del 2007 è membro del Consiglio del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano per la normativa elettrica). Valutatore di progetti di sviluppo precompetitivo L.n. 46/82 per conto del Ministero delle Attività Produttive e, per lo stesso Ministero, nel 2008 ha fatto parte del gruppo di esperti, con il compito di sviluppare l'analisi fattuale in ambito energia ed ambiente, per l'indirizzamento dei fondi strutturali per le regioni del mezzogiorno. Esperto per la valutazione dei progetti di Ricerca di Sistema per il Settore Elettrico per la CCSE. Esperto per la valutazione per il MIUR dei progetti PRIN e dei progetti PON.

Giovanni Lutzemberger (1981)

Nato a Pisa il 31/12/1981, ha conseguito il Diploma di Maturità classica nel Luglio dell'anno 2000. Ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria dei Veicoli Terrestri nel 2007 presso l'Università di Pisa, ed è risultato tra i vincitori con borsa del Concorso di ammissione al Dottorato di Ricerca in Veicoli Terrestri e Sistemi di Trasporto (Ciclo 2008-2010) presso la Scuola di Dottorato Leonardo da Vinci.

Nel 2011 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca discutendo la tesi dal titolo "Battery, Hybrid and Fuel Cell vehicle propulsion systems". Nel 2011 è risultato vincitore della Selezione pubblica per il conferimento di un assegno di ricerca di durata biennale sul tema "Modellazione e sperimentazione di batterie al litio per applicazioni veicolari", presso il Dipartimento di Ingegneria dell'energia e dei sistemi (Università di Pisa), di cui ha ottenuto il rinnovo nel 2013. Nel 2014 è risultato vincitore della Selezione pubblica per l'assunzione

di un Ricercatore a tempo determinato L.240/2010 presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (Università di Pisa), Settore concorsuale 09/E2 "Ingegneria dell'energia elettrica", Settore scientifico-disciplinare ING-IND/33 "Sistemi elettrici per l'energia". La sua attività di ricerca si è prevalentemente sviluppata nel settore dei veicoli a propulsione elettrica e ibrida e dell'accumulo elettrochimico dell'energia. Su questi ultimi temi è stato autore di 22 pubblicazioni, prevalentemente a carattere internazionale.

Davide Poli (1972)

Nel luglio 1991 ha ottenuto la maturità scientifica a pieni voti presso il Liceo Statale "Giosuè Carducci" di Volterra. Durante il periodo 1994-96 ha ricevuto una borsa di studio Siemens per studenti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, su base di merito; tale borsa gli ha permesso vari soggiorni di studio e tirocinio in Germania. Nel luglio 1997 si è laureato con lode in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Pisa, con una tesi dal titolo "Simulazione tecnico-economica di un parco di generazione idro-termoelettrico: una tecnica per la messa a punto di contratti tra Utility e Produttori Indipendenti", con relatori i professori Luigi Paris e Paolo Pelacchi. Dal 1998 al 2001 ha frequentato presso la stessa Università il corso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettrotecnica (XIV ciclo). In tale ambito si è occupato dell'analisi di sistemi elettrici liberalizzati (California, Spagna, Inghilterra, PJM, Italia) e di problematiche di tariffazione per clienti idonei e vincolati. Ha concluso il corso di dottorato con una tesi dal titolo: "Mercati elettrici liberalizzati – Analisi del funzionamento e tecniche di simulazione". Il 1° agosto 2001 è diventato ricercatore universitario nel settore scientifico disciplinare INGIND/33 "Sistemi Elettrici per l'Energia", con afferenza al Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione dell'Università di Pisa, poi divenuto DESE e infine DESTEC (Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni). E' stato confermato in ruolo nel 2004. E' abilitato alla professione di ingegnere. Nel dicembre 2013 ha ottenuto l'Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN 2012) al ruolo di professore di seconda fascia nel Settore Concorsuale 09/E2 "Ingegneria dell'energia elettrica". A fine ottobre 2014 è risultato vincitore di procedura selettiva ex art.18 legge 240/2010 per Professore di seconda fascia (professore associato) nel Settore Concorsuale 09/E2 "Ingegneria dell'energia elettrica" – Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/33 "Sistemi Elettrici per l'Energia" ed è stato chiamato in ruolo dal DESTEC il 13 novembre 2014.