

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000021923
Data Deposito	16/08/2021
Data Pubblicazione	16/02/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	R	31	392

Titolo

METODO PER DETERMINARE LO STATO DI SALUTE DI ALMENO UNA BATTERIA
ELETTRICA

METODO PER DETERMINARE LO STATO DI SALUTE DI ALMENO UNA
BATTERIA ELETTRICA

DESCRIZIONE

CAMPO DELLA TECNICA

5 La presente invenzione concerne un metodo per determinare lo stato di salute di almeno una batteria elettrica. Più in dettaglio, la presente invenzione si riferisce ad un metodo per rilevare grandezze elettriche indicative del degrado di almeno una batteria elettrica. Pertanto, la presente invenzione trova vantaggioso impiego nel settore tecnico della produzione e commercializzazione di batterie elettriche e più in particolare nel settore
10 tecnico della produzione di software e algoritmi per sistemi e dispositivi per la gestione delle batterie elettriche (noti con l'acronimo inglese BMS – Battery Management Systems) atti a verificare la funzionalità e lo stato di salute delle batterie elettriche.

STATO DELLA TECNICA

Nel settore tecnico di riferimento sono noti molti metodi per determinare lo stato di salute
15 di una batteria elettrica. Più chiaramente, con il termine di “stato di salute” di una batteria si intende nel gergo tecnico del settore un parametro derivato che indica le condizioni generali della batteria e la sua capacità prestazionale rispetto a una medesima batteria nuova. Tale parametro è noto con l'acronimo inglese “SOH” – State of Health – che indica anche lo stato di degrado e depauperamento della batteria. Lo stato di salute è
20 pertanto una cifra di merito (i.e. un valore utilizzato per caratterizzare le prestazioni di un dispositivo) dello stato della batteria rispetto alle sue condizioni ideali, in termini percentuali. Normalmente infatti lo stato di salute di una batteria è del 100% al momento della sua produzione e diminuisce con il suo uso nel tempo.

Con il termine di “batteria elettrica” si dovrà intendere nel seguito un dispositivo atto ad
25 immagazzinare e cedere carica elettrica, nel primo caso assorbendo corrente e nel secondo

erogandola. In gergo tecnico, questo tipo di batteria si definisce secondario (o ricaricabile), in contrapposizione alle batterie primarie (che non possono essere ricaricate).

In particolare, è noto nel settore tecnico di riferimento identificare la batteria anche con il termine di “modulo batteria”, i.e. un dispositivo di accumulo di carica elettrica composto da una pluralità di celle tra loro elettricamente collegate per ottenere la tensione e/o la capacità elettrica desiderate, come descritto più in dettaglio nel seguito.

Nel gergo tecnico del settore è anche noto il termine di “pacco batteria”, i.e. un dispositivo di accumulo di carica elettrica comprendente due o più dei suddetti moduli batteria tra loro elettricamente collegati. Per semplicità di trattazione, nel presente testo si farà riferimento ad una batteria elettrica, ma la presente trattazione si dovrà intendere essere applicabile anche ad un pacco batteria comprendente più batterie e/o moduli batteria.

Inizialmente, a seguito della loro produzione, le celle che compongono le batterie elettriche sono identiche tra di loro a meno delle tolleranze di lavorazione o di eventuali difetti di fabbricazione. Con l'invecchiamento le loro caratteristiche decadono e potrebbero farlo in modo disomogeneo, in cui la cella con prestazioni minori delle altre influenza il comportamento di tutta la batteria elettrica. La batteria inoltre potrebbe avere dei difetti di costruzione o danneggiarsi per motivi legati al suo trasporto, montaggio o utilizzo: queste condizioni potrebbero tradursi nel danneggiamento di una o più delle celle che la costituiscono o nel rischio di un cortocircuito di una di esse, con una possibile evoluzione in fenomeni di venting (fuoriuscita di gas dalla cella) o di esplosione/incendio. Come detto, le prestazioni e la sicurezza di una batteria come quella di Figura 1 sono influenzate dalle caratteristiche della cella più degradata o dai difetti sopracitati: per questo è importante disporre di un sistema che identifichi il degrado tramite un valore numerico e che possa aiutare sia nella diagnostica che nella previsione di perdita di prestazioni.

Nel manuale del test di verifica della durata della tecnologia delle batterie formulato da

organizzazioni competenti come il Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti (DOE), lo stato di salute (SOH) è definito come la valutazione delle prestazioni residue disponibili per le batterie in vari aspetti, prima che le prestazioni della batteria non possano più soddisfare i requisiti di funzionamento (cioè, prima della fine del ciclo di vita). Per tale

5 definizione vengono valutate in modo complessivo le prestazioni quali la massima potenza di carica-scarica istantanea, energia disponibile, efficienza energetica delle batterie durante il processo di invecchiamento, e allo stesso tempo si specifica che la SOH varia dal 100 % di inizio vita fino ad un valore minimo di soglia stabilito per la particolare applicazione come fine vita della batteria.

10 Nel settore tecnico di riferimento sono noti dispositivi e/o apparati di gestione delle batterie (i summenzionati BMS) i quali comprendono almeno un dispositivo elettronico elettricamente collegato alla batteria e configurato per gestire la potenza elettrica di ricarica e di scarica, allo scopo di forzare un funzionamento della batteria in un'area di funzionamento sicura, ovvero ovviando al rischio di malfunzionamenti dovuti ad esempio

15 a sovracorrenti e/o sovratensioni.

Normalmente, una batteria elettrica comprende una pluralità di celle tra loro elettricamente collegate e collegate al suddetto dispositivo di gestione.

Come è noto, i dispositivi di gestione delle batterie comprendono almeno una memoria elettronica in cui è salvato un algoritmo che può implementare un metodo per determinare

20 lo stato di salute della batteria, in termini percentuali o relativi dando ad esempio un valore compreso tra 0 e 1, oppure tra 0 e 100, in cui il valore 1 (o 100) indica lo stato di salute massimo (normalmente corrispondente al valore al momento della produzione) e 0 indica lo stato di salute minimo, i.e. fine vita della batteria.

Da quanto sopra esposto appare evidente come lo stato di salute di una batteria non sia

25 una grandezza corrispondente ad una particolare grandezza fisica, ma sia invece un

parametro generale delle condizioni della batteria, per il quale non vi è un metodo di determinazione univoco.

Sono noti metodi per determinare lo stato di salute di una batteria che prevedono di rilevare almeno uno tra i seguenti parametri: resistenza interna, impedenza interna,
5 conduttanza interna, capacità, tensione, autoscarica (fenomeno secondo il quale le reazioni chimiche interne riducono la carica immagazzinata della batteria senza alcun collegamento tra gli elettrodi o alcun circuito esterno), numero di cicli di carica-scarica, età della batteria, temperatura della batteria durante i suoi usi precedenti, energia totale caricata e scaricata.

10 In particolare, è noto realizzare un test per determinare la resistenza e/o l'impedenza interna della batteria, in quanto, come è noto, all'aumentare della resistenza e/o dell'impedenza interna corrisponde una diminuzione dello stato di salute della batteria. Tuttavia, tale metodo di tipo nella pratica si è rivelato sconveniente in quanto richiede l'utilizzo di strumentazione molto sofisticata (e quindi costosa) e di realizzare test molto
15 lunghi ed elaborati.

Allo scopo di calcolare lo stato di salute della batteria, il progettista del dispositivo di gestione della batteria definisce un peso arbitrario per ciascun parametro scelto tra quelli sopra elencati, per calcolare il valore percentuale dello stato di salute.

I metodi per determinare lo stato di salute di una batteria normalmente proposti nel
20 settore tecnico di riferimento stimano direttamente i valori numerici della resistenza o impedenza della batteria. La stima diretta di tali valori comporta l'adozione e l'implementazione di apparati di misura molto complessi oppure si rende necessario il calcolo a posteriori di tali valori. Tuttavia, il calcolo a posteriori implica l'accettazione di un errore di calcolo molto alto nella stima di resistenza e impedenza, in quanto tali calcoli
25 prevedono l'utilizzo di derivate numeriche, che come noto, possono essere calcolate

numericamente solamente come approssimazione. Infatti, la derivata numerica è una operazione cosiddetta 'mal condizionata', i.e. soggetta ad errori di calcolo molto alti, di conseguenza per minimizzare l'errore di calcolo occorre utilizzare tempi di acquisizione delle grandezze molto brevi e la precisione delle misure deve essere molto elevata.

5 Pertanto, tali metodi per determinare lo stato di salute di una batteria di tipo noto si sono rivelati nella pratica non scevri di inconvenienti.

Il principale inconveniente risiede nel fatto che tali metodi, e di conseguenza i dispositivi di gestione che li implementano, risultano estremamente costosi e complessi.

Ulteriore inconveniente risiede nel fatto che i metodi di tipo noto risultano poco precisi
10 nell'acquisizione delle grandezze di riferimento per determinare lo stato di salute della batteria.

Inoltre, i metodi di tipo noto non prevedono in alcun modo di determinare lo stato di salute di singole celle che compongono la batteria, ma si limitano a valutare i suddetti valori dell'intera batteria, non riuscendo a rilevare dove sia il problema nel caso se ne
15 incontrasse uno, a meno di grande sforzo computazionale.

Ulteriore inconveniente risiede nel fatto che i metodi di tipo noto prevedono di realizzare calcoli mediante metodi numerici che prevedono derivate. Come è noto, i calcoli numerici di derivate sono mal condizionati, i.e. risentono pesantemente di piccole fluttuazioni dei dati di ingresso iniziali, risultando di fatto molto esosi dal punto di vista computazionale
20 e poco affidabili nei risultati ottenuti.

SCOPI DELL'INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è quello di proporre un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che consenta di soddisfare, almeno in parte, le suddette esigenze.

Ulteriore scopo dell'invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per
25 determinare lo stato di salute di una batteria che consenta di rilevare lo stato di salute non

solo dell'intera batteria, ma che sia anche in grado di rilevare lo stato di salute delle stringhe di celle che compongono la batteria.

Ulteriore scopo dell'invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che utilizzi strumentazione economica e
5 facilmente reperibile, ovviando alla necessità di utilizzare strumentazione complessa e/o costosa.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che sia computazionalmente poco esoso.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo
10 per determinare lo stato di salute di una batteria che non utilizzi calcoli numerici mal condizionati.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che sia facile da implementare.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo
15 per determinare lo stato di salute di una batteria che sia economicamente vantaggioso.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che consenta di realizzare una diagnostica della batteria nelle parti che la compongono.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo
20 per determinare lo stato di salute di una batteria che utilizzi test semplici da realizzare, ad esempio test di normale manutenzione della batteria medesima.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che eviti di effettuare la misura delle resistenze ed impedenze interne della batteria, ovviando quindi alla necessità di utilizzare
25 strumentazione complessa e costosa.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che sia funzionalmente del tutto affidabile.

Altro scopo della presente invenzione è proporre un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che risulti alternativo e/o migliorativo rispetto alle soluzioni tradizionali.

Altro scopo della presente invenzione è proporre un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria che abbia una configurazione alternativa e/o migliorativa, sia in termini costruttivi sia in termini funzionali, rispetto alle soluzioni tradizionali.

Tutti questi scopi, sia singolarmente che in una loro qualsiasi combinazione, ed altri che risulteranno dalla descrizione che segue sono raggiunti, secondo l'invenzione, con un metodo per determinare lo stato di salute di una batteria avente le caratteristiche indicate nella rivendicazione 1.

BREVE DESCRIZIONE DELLE FIGURE

- La presente invenzione viene qui di seguito ulteriormente descritta in alcune sue preferite forme di pratica realizzazione, riportate a scopo puramente esemplificativo e non limitativo con riferimento alle allegate tavole di disegni, in cui:
- la figura 1 è una vista schematica di una batteria suscettibile di implementare il metodo secondo l'invenzione;
 - La figura 2 mostra una vista schematica di un collegamento in serie di tre stringhe di celle;
 - La figura 3 mostra un grafico delle fasi di scarica e ricarica previste dal metodo oggetto dell'invenzione;
 - La figura 4 mostra una curva chiusa la cui area è proporzionale ad un'energia dispersa dalla batteria;

- La figura 5 mostra un grafico della tensione a vuoto di almeno una stringa di celle della batteria, rispetto alla profondità di scarica della batteria;
- La figura 6 mostra un grafico della tensione a vuoto e della tensione ai capi di una stringa, misurata al variare della profondità di scarica nelle fasi di carica e scarica, definendo una curva chiusa;
- La figura 7 mostra il grafico di figura 6 eseguito per diverse stringhe di celle, opportunamente collegate in serie, dotate di diversa capacità.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELL'INVENZIONE

Un esempio di batteria su cui è attuabile il metodo secondo l'invenzione è stato identificato nel suo complesso con il riferimento 1 nelle allegate figure.

Il metodo di cui trattasi trova vantaggioso impiego nel settore tecnico della produzione e commercializzazione di batterie elettriche, ed in particolare nel settore tecnico della diagnostica di batterie elettriche, per qualsiasi applicazione.

Il metodo per determinare lo stato di salute di una batteria oggetto della presente invenzione è opportunamente applicabile sostanzialmente a qualunque tipologia di batteria, in particolare ricaricabile, nota nel gergo tecnico del settore con il termine di "secondaria", ed in particolare è vantaggiosamente applicabile alle batterie agli ioni di litio. Opportunamente, la batteria elettrica 1 di cui trattasi comprende almeno due stringhe 2 di celle 3 tra loro elettricamente collegate.

Ovviamente, la batteria 1 potrà comprendere un numero qualsiasi di stringhe 2 di celle 3, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente privativa.

Con il termine di "batteria elettrica" si dovrà intendere nel seguito un accumulatore elettrico formato da più sottocomponenti, quali in particolare le "celle", i.e. le porzioni elementari in grado di immagazzinare energia elettrica, ad esempio sotto forma di energia elettrochimica o simili.

Opportunamente, le celle 3 sono elettricamente collegate tra loro in parallelo definendo le suddette stringhe 2. In altre parole, ciascuna stringa 2 comprende una pluralità di celle 3 tra loro collegate in parallelo. Inoltre, preferibilmente, la batteria 1 comprende almeno due stringhe 2 tra loro collegate in serie.

- 5 La batteria 1 è dotata di una tensione operativa V_c sostanzialmente pari alla somma delle tensioni parziali definite dalle stringhe 2 tra loro elettricamente collegate in serie, ovvero dalle tensioni parziali definite dalle celle 3 tra loro elettricamente collegate in parallelo, e quindi aventi la stessa tensione ai loro capi, che definiscono le stringhe 2.

Opportunamente, la batteria 1 comprende inoltre almeno un'unità elettronica di controllo
10 (non illustrata nelle allegate figure) elettricamente collegata almeno a dette almeno due stringhe 2.

Vantaggiosamente, l'unità elettronica di controllo comprende un dispositivo di gestione della batteria (noto con il termine di Battery Management System, BMS, nel gergo tecnico del settore), elettricamente collegato almeno alle stringhe 2 di celle 3 e configurato per
15 ricevere segnali elettrici contenenti misurazioni elettriche effettuate su tali stringhe 2.

Secondo l'invenzione, il metodo di cui trattasi comprende una pluralità di fasi operative, descritte in dettaglio nel seguito.

Con particolare riferimento alla allegata figura 1, la batteria 1 è stata rappresentata mediante il suo modello circuitale equivalente, il quale mostra ogni singolo gruppo di celle
20 elettricamente collegate tra loro in parallelo.

Figura 2 mostra lo schema circuitale equivalente di tre stringhe 2 tra loro collegate in serie. Per semplicità di esposizione, la batteria 1 è modellata come un gruppo di stringhe tra loro in serie, in accordo con la allegata figura 2, in cui ciascuna stringa si deve intendere comprendere una pluralità di celle 3 tra loro collegate in parallelo.

25 Preliminarmente, il metodo comprende almeno una fase di predisposizione di detta

batteria 1 in una configurazione carica con una tensione di carica E_0 sostanzialmente costante come mostrato in figura 1. Vantaggiosamente, la tensione di carica E_0 è uguale per tutte le stringhe 2 di celle 3.

E_0 rappresenta vantaggiosamente la forza elettromotrice a vuoto in condizioni stazionarie: la tensione operativa V_c (trattata nel seguito), coincide con E_0 quando la corrente che scorre nel circuito è nulla e, preferibilmente, la batteria 1 è in una configurazione sostanzialmente stazionaria.

Nel seguito, si farà riferimento alla tensione operativa V_c riferita ad una singola cella 3 (o ad una stringa 2 di celle 3 collegate in parallelo) della batteria 1 e, conseguentemente, alla tensione operativa V_c di ciascuna stringa 2 di celle 3 tra loro elettricamente collegate in parallelo.

Con particolare riferimento alla allegata figura 3, il metodo prevede inoltre una fase di scarica delle stringhe 2 di celle 3 di detta batteria 1 con una corrente di scarica I_{sc} , preferibilmente sostanzialmente costante, in cui detta unità elettronica di controllo misura in maniera continua una prima tensione ai capi dette stringhe 2 ed un tempo di scarica t_{sc} impiegato per scaricare detta batteria 1 con detta corrente di scarica I_{sc} .

Con il termine “in maniera continua” si dovrà intendere nel seguito che l’unità elettronica di controllo rileva i suddetti valori durante tutta la fase di scarica, associando a ciascun valore di corrente di scarica I_{sc} un valore temporale ed un valore di tensione, per poi utilizzarli in successive fasi di calcolo descritte in dettaglio nel seguito.

In particolare, la fase di scarica prevede di scaricare almeno una stringa 2 di celle 3 fino ad una tensione di scarica V_{sc} . Il valore della tensione di scarica V_{sc} è vantaggiosamente un valore superiore a 0V, al fine di preservare l’integrità e la capacità di accumulo della batteria 1.

Più in dettaglio, il valore di tensione di scarica V_{sc} raggiunto da almeno una stringa 2

equivale ad un valore di tensione di fine scarica nominale V_{sc_nom} , che è un valore noto dato dal costruttore. Vantaggiosamente, il raggiungimento del valore di tensione di fine scarica nominale V_{sc_nom} dipende dalla capacità di ciascuna stringa 2 di celle 3 e/o maggiore resistenza e/o impedenza interna.

- 5 Più in dettaglio, durante la fase di scarica, la stringa 2 dotata di minore capacità, e/o maggiore resistenza e/o impedenza interna, raggiunge detto valore di tensione di scarica V_{sc} pari al valore di tensione di fine scarica nominale V_{sc_nom} prima delle altre stringhe 2 dotate di maggiore capacità. A seguito di tale raggiungimento del valore di tensione di fine scarica nominale V_{sc_nom} la fase di scarica è interrotta per tutte le stringhe 2.
- 10 Pertanto, le stringhe 2 dotate di maggiore capacità, e/o minore resistenza e/o impedenza interna, presentano una tensione di scarica V_{sc} maggiore rispetto al valore di tensione di fine scarica nominale V_{sc_nom} . Opportunamente, la scarica delle stringhe 2 si ferma nel momento in cui almeno una stringa ha raggiunto un valore minimo di tensione. In altre parole, quando una stringa danneggiata o degradata nelle prestazioni (e quindi con minore
- 15 capacità e/o maggiore resistenza e/o impedenza interna) è scarica, anche le altre stringhe non danneggiate (con capacità maggiore e/o minore resistenza e/o impedenza interna) fermano la scarica, con una tensione V_c maggiore.

Opportunamente, a seguito della fase di scarica, il metodo prevede una fase di pausa, in cui detta corrente di scarica I_{sc} è sostanzialmente annullata ed in cui dette stringhe 2

20 stabilizzano dette tensioni di scarica V_{sc} fino al raggiungimento di rispettive tensioni a vuoto stabilizzate $E1$.

In altre parole, durante la fase di pausa, le stringhe 2 di celle 3 sono vantaggiosamente a vuoto, i.e. a corrente sostanzialmente nulla, in modo tale che la tensione operativa V_c , ed in particolare tensione di scarica V_{sc} , si stabilizzi su un valore costante, definendo il

25 suddetto valore di tensione a vuoto stabilizzata $E1$.

Vantaggiosamente, ciascuna stringa 2 di celle 3 definisce una corrispondente tensione di scarica V_{sc} e pertanto anche una corrispondente tensione a vuoto stabilizzata $E1$.

Preferibilmente, a seguito della stabilizzazione della tensione operativa V_c su un valore costante, i.e. il suddetto valore di tensione a vuoto stabilizzata $E1$, ha luogo una fase di
5 ricarica.

Il metodo prevede quindi la fase di ricarica di detta batteria 1 con una corrente di ricarica I_c , in cui detta unità elettronica di controllo misura in maniera continua una seconda tensione ai capi dette stringhe 2 ed un tempo di ricarica t_c impiegato per ricaricare detta batteria 1 con detta corrente di ricarica I_c .

10 Con il termine “in maniera continua” si dovrà intendere nel seguito che l’unità elettronica di controllo rileva i suddetti valori durante tutta la fase di ricarica, associando a ciascun valore di corrente di ricarica I_c un valore temporale ed un valore di tensione, per poi utilizzarli in successive fasi di calcolo descritte in dettaglio nel seguito.

Vantaggiosamente, la fase di ricarica del metodo secondo l’invenzione prevede anche una
15 ricarica a tensione costante e corrente variabile. Più chiaramente, la fase di ricarica prevede che la corrente di ricarica I_c sia sostanzialmente costante per un primo periodo di tempo e, preferibilmente, prevede inoltre che la corrente di ricarica I_c sia ridotta gradualmente in modo tale che la tensione operativa della cella V_c rimanga costante.

Ovviamente, la fase di ricarica del metodo potrà prevedere qualunque tipologia di tensione
20 e/o corrente di ricarica note al tecnico del settore senza per questo uscire dall’ambito di protezione della presente privativa.

Il metodo prevede quindi una prima fase di calcolo di un valore di capacità effettiva C_{eff} di ciascuna stringa 2 di celle 3 sulla base del valore di detta corrente di scarica I_{sc} ed il
valore di detto tempo di scarica t_{sc} e/o il valore di detta corrente di ricarica I_c ed il valore
25 di detto tempo di ricarica t_c e, preferibilmente, sulla base del valore della tensione di

scarica V_{sc} e sulla base delle tensioni a vuoto stabilizzate E1. La formulazione di tale calcolo di capacità effettiva verrà descritto più in dettaglio nel seguito.

Inoltre, il metodo prevede una seconda fase di calcolo di un valore proporzionale ad un'energia A_c dispersa durante la fase di scarica e la fase di ricarica, sulla base della prima
 5 tensione (misurata durante la fase di scarica) e/o della seconda tensione (misurata durante la fase di ricarica) ai capi della cella 3 e/o della stringa 2, sulla base del valore di detta corrente di scarica I_{sc} ed il valore di detto tempo di scarica t_{sc} e/o il valore di detta corrente di ricarica I_c ed il valore di detto tempo di ricarica t_c e sulla base del valore di detta capacità effettiva C_{eff} .

10 Opportunamente, detta energia dispersa A_c è calcolata in detta seconda fase di calcolo come l'area sottesa tra la tensione operativa V_c al variare di una profondità di scarica DOD (Depth of Discharge, descritta in dettaglio nel seguito). In altre parole, il calcolo del suddetto valore proporzionale all'energia A_c è il calcolo di un integrale numerico nel
 15 tempo della tensione ai capi della stringa 2 di celle 3, come descritto in dettaglio nel seguito.

Opportunamente, la profondità di scarica DOD è un valore che indica quanto è stata scaricata la batteria rispetto ad un suo valore nominale. Allo stesso modo, lo stato di carica SOC (State of Charge) è la grandezza complementare alla profondità di scarica ed indica quanta carica residua sia ancora presente accumulata nella batteria.

20 Lo stato di carica, SOC è definito in funzione della capacità nominale:

$$SOC = 1 - \frac{Q_e}{C_{nom}} = 1 - \frac{1}{3600} \frac{\int_0^t I_{sc} dt}{C_{nom}};$$

in cui C_{nom} è la capacità nominale di ciascuna cella 3 e I_{sc} è la suddetta corrente di scarica della fase di scarica.

Come sopra anticipato, la profondità di scarica DOD è invece il valore complementare a quello dello stato di carica SOC e vantaggiosamente si calcola come segue:

$$DOD(t) = 1 - SOC = \frac{1}{3600 C_{nom}} \int_0^t i dt.$$

Vantaggiosamente, la fase di scarica e la fase di ricarica sono effettuate in regime quasi stazionario, i.e. assumendo che le variazioni delle grandezze elettriche nel tempo siano lente e che consentano pertanto di trascurare alcuni transitori elettrici.

In accordo con una prima forma realizzativa, la prima fase di calcolo di detto valore di
 5 capacità effettiva C_{eff} e la seconda fase di calcolo di detto valore proporzionale ad un'energia A_c dispersa sono effettuate dall'unità elettronica di controllo ed in particolare dal dispositivo di gestione dell'unità elettronica di controllo, quale ad esempio il BMS.

Diversamente, in accordo con una ulteriore forma realizzativa, la prima e la seconda fase di calcolo sono realizzate da un'unità esterna di calcolo, quale ad esempio un calcolatore,
 10 sia esso un computer o simili.

L'unità elettronica di controllo vantaggiosamente riceve e memorizza le misurazioni di corrente di scarica I_{sc} , tempo di scarica t_{sc} , corrente di ricarica I_c , tempo di ricarica t_c , tensione di scarica V_{sc} di ciascuna stringa 2, tensione a vuoto stabilizzata $E1$ di ciascuna stringa 2.

15 In questo modo, un operatore può prelevare tali misurazioni ed elaborarle con la suddetta unità esterna di calcolo per realizzare la prima e la seconda fase di calcolo.

Vantaggiosamente, la capacità effettiva C_{eff} di ciascuna stringa 2 di celle 3 è calcolata secondo la formula:

$$C_{eff} = \frac{Ah_{sc}}{DOD_f - DOD_i}$$

In cui Ah_{sc} è la carica elettrica erogata dalla batteria 1 durante la fase di scarica, misurata
 20 in amperora (Ah), DOD_i è la profondità di scarica di ciascuna stringa prima della fase di scarica e DOD_f è la profondità di scarica al termine della fase di scarica.

Preferibilmente, il calcolo della profondità di scarica DOD è effettuato sulla base del

valore della tensione di scarica V_{sc} oppure mediante il valore di tensione a vuoto stabilizzata $E1$ di ciascuna stringa 2 di celle 3.

Più in dettaglio, il calcolo della profondità di scarica DOD per il calcolo della capacità effettiva C_{eff} prevede preferibilmente l'utilizzo di un database di valori (ad esempio in
5 forma di tabella e/o di grafico) di tensioni di scarica V_{sc} e/o valori di tensione a vuoto stabilizzata $E1$ ai quali sono associati corrispondenti valori di stato di carica SOC e/o corrispondenti valori di profondità di scarica DOD.

In altre parole, la prima fase di calcolo prevede di ricevere la misurazione almeno del
10 valore della tensione di scarica V_{sc} e/o del valore di tensione a vuoto stabilizzata $E1$ di ciascuna stringa 2 di celle 3; la prima fase di calcolo prevede inoltre di confrontare tale misurazione con i valori salvati all'interno del database e prevede quindi di selezionare un valore di un corrispondente stato di carica SOC e/o un corrispondente valore di profondità di scarica DOD.

Vantaggiosamente, detta energia dispersa A_c è calcolata al termine sia della fase di scarica
15 che della fase di carica, secondo la formula:

$$A_c = \int_{DOD_i}^{DOD_f} V_{ab}(t) DOD(t) dt$$

in cui:

$$DOD(t) = \frac{1}{3600 C_{eff}} \int_{t_i}^t i dt$$

ed in cui in questo caso DOD_i è la profondità di scarica all'inizio di detta fase di scarica e/o detta fase di ricarica ed in cui DOD_f è la profondità di scarica alla fine di detta fase di scarica e/o detta fase di ricarica.

20 Più in dettaglio, l'energia dispersa A_c è calcolabile come l'area sottesa dalla curva della tensione operativa V_c al variare della profondità di scarica DOD, in accordo con la curva illustrata nella allegata figura 5, e identificato con il riferimento $V_c(DOD)$. In particolare,

la figura 4 mostra l'andamento della tensione al variare della profondità di scarica ad una temperatura fissa T^* di 25°C.

L'andamento della tensione V_c dipende anche dalla resistenza interna della batteria, la quale, come di per sé noto, aumenta con l'invecchiamento della batteria 1.

- 5 Come illustrato nella allegata figura 6, è chiaramente visibile come la costruzione della curva chiusa da cui è possibile calcolare l'area sia semplicemente la curva in diverse condizioni operative di carica e scarica della batteria 1.

Più in dettaglio, la curva definisce un ramo superiore che coincide con l'andamento della tensione V_c sommata alla caduta di tensione dovuta alla corrente di carica che attraversa
10 una resistenza interna R della stringa 2 della batteria 1. Allo stesso modo, la curva definisce vantaggiosamente un ramo inferiore che coincide con l'andamento della tensione V_c con sottratta la caduta di tensione determinata dal passaggio della corrente di scarica per la resistenza interna R della stringa 2.

Pertanto, più l'area A_c è ampia più la resistenza interna R della stringa 2 è grande, più è
15 quindi deteriorata la stringa 2. In altre parole, detta energia dispersa A_c è proporzionale al degrado di della stringa 2 e quindi della batteria 1.

Vantaggiosamente, il metodo secondo l'invenzione prevedere calcoli numerici che non comprendono derivate. Diversamente infatti, il metodo secondo l'invenzione prevede calcoli numerici che comprendono integrali numerici.

- 20 Ad esempio, figura 2 mostra tre diverse stringhe di celle, in cui una prima stringa è dotata di capacità $C1$, una seconda stringa è dotata di capacità $C2$ ed una terza stringa è dotata di capacità $C3$. A scopo esemplificativo, ipotizziamo che la capacità $C2$ della seconda cella sia maggiore della capacità $C1$ della prima cella e che la resistenza della prima cella sia maggiore rispetto alla resistenza della seconda cella, a causa di un più rapido
25 invecchiamento.

L'allegata figura 7 mostra la curva di tensione V_c al variare della profondità di scarica DOD per la prima cella di capacità C_1 e per la seconda cella di capacità C_2 , per le quali sono eseguite le fasi di scarica e di ricarica, partendo da una tensione iniziale E_0 uguale per tutte, e quindi che partano dallo stesso stato di carica SOC e dalla stessa profondità di scarica DOD iniziale.

Se le celle presentano capacità e resistenze interne diverse e lo stesso andamento della $V_c(\text{SOC})$, la scarica verrà interrotta da quella a capacità minore o a resistenza interna maggiore ed i valori di DOD finali dei singoli gruppi dell'insieme saranno tra loro inversamente proporzionali a quelle delle capacità effettive (maggiori per capacità minori) come indicato in figura 7.

In particolare, in figura 7 è identificato il tratto terminale della curva tratteggiata che è chiaramente più corto nel caso della prima cella con capacità C_2 superiore alla capacità C_1 della seconda cella. Vantaggiosamente, l'area della figura 7 è minore per la cella con capacità maggiore e/o resistenza e/o impedenza minore.

Vantaggiosamente, il valore dell'energia dispersa A_c è inversamente proporzionale alla capacità effettiva del sottogruppo e proporzionale alla sua resistenza serie: ne consegue che l'energia dispersa A_c associata ad una cella che lavora in condizioni migliori di un'altra (capacità superiore e resistenza inferiore) risulterà essere inferiore rispetto all'energia dispersa associata a quella di quest'ultima.

Vantaggiosamente, forma inoltre oggetto della presente invenzione anche un dispositivo di gestione di almeno una batteria, configurato per essere elettricamente collegato alle stringhe 2 di una batteria 1 e programmato per eseguire le fasi operative per implementare il metodo per determinare lo stato di salute di una batteria, sopra descritto e anch'esso oggetto della presente invenzione.

Opportunamente, il metodo prevede quindi almeno una fase di valutazione di almeno un

coefficiente di degrado F_{deg} di ciascuna detta stringa 2 di detta batteria 1 sulla base almeno del valore proporzionale di detta energia A_c dispersa. Il calcolo di tale coefficiente di degrado verrà descritto in dettaglio nel seguito. Il coefficiente di degrado F_{deg} indica con un valore numerico l'invecchiamento della batteria, i.e. l'incapacità delle singole
5 stringhe 2 di immagazzinare carica elettrica e/o fornire potenza.

Allo scopo di comprendere lo stato di salute della batteria 1, il metodo prevede quindi almeno una fase di comparazione di detto coefficiente di degrado F_{deg} con un valore massimo di degrado F_{max} per definire lo stato di salute di detta batteria.

In questo modo, il metodo secondo l'invenzione consente di effettuare la valutazione
10 dello stato di salute della batteria in maniera semplice ed economica. In particolare, il metodo secondo l'invenzione consente di calcolare lo stato di salute della batteria effettuando solamente le suddette fasi di scarica e ricarica, che sono di per sé ben note al tecnico del settore ed economiche da effettuare.

Opportunamente, le fasi operative sopra descritte sono effettuate per ciascuna stringa 2
15 di celle 3, in quanto l'unità elettronica di controllo è elettricamente collegata a ciascuna stringa 2 e ne riceve le misurazioni durante ciascuna fase di scarica e ricarica.

Il metodo secondo l'invenzione consente pertanto di ottenere lo stato di salute in maniera rapida e semplice non solo della batteria 1 ma anche di ciascuna stringa 2 di celle 3.

Caratterizzare numericamente il degrado delle singole stringhe 2 di celle 3 di una batteria
20 1 permette di individuarne il particolare gruppo di celle 3 (i.e. la particolare stringa 2) che potrebbero avere un futuro malfunzionamento a causa di un loro deterioramento anomalo o di un difetto di costruzione o danneggiamento, sostituendoli prima che questo avvenga, cosa che se non fosse fatta comprometterebbe la funzionalità e la sicurezza della batteria 1.

25 Inoltre, come descritto più in dettaglio nel seguito, il metodo secondo l'invenzione

permette di stabilire un criterio da utilizzare per definire le condizioni di ritiro dell'intera batteria 1 e il suo eventuale impiego, per esempio, in una applicazione meno gravosa (in gergo, "Second Life") oppure per il riciclo definitivo di fine vita (ottimizzazione della gestione di batterie esauste).

- 5 Vantaggiosamente, il metodo secondo l'invenzione comprende almeno una terza fase di calcolo di un valore di rendimento energetico η della fase di scarica e della fase di ricarica. Vantaggiosamente, il rendimento energetico è calcolato secondo la formula:

$$\eta_i = \frac{\int_0^{T_{sc}} V_c i_{sc} dt}{\int_0^{T_c} V_c i_c dt};$$

- in cui V_c è la tensione operativa di ciascuna stringa 2, I_{sc} è la corrente di scarica misurata durante la fase di scarica e I_c è la corrente di ricarica misurata durante la fase di ricarica,
 10 T_{sc} è il tempo di scarica misurato durante la fase di scarica e T_c è il tempo di carica misurato durante la fase di ricarica.

Opportunamente, la fase di valutazione è effettuata dall'unità elettronica di controllo, programmata per ricevere le misurazioni effettuate durante la fase di scarica e la fase di ricarica ed elaborarle per ottenere il suddetto coefficiente di degrado F_{deg} .

- 15 Diversamente, in accordo con una ulteriore forma realizzativa della presente invenzione, la fase di valutazione è effettuata da una unità esterna (quale ad esempio un calcolatore, in particolare un PC) che riceve le misurazioni ottenute durante le fasi di scarica e ricarica e li elabora per ottenere il suddetto coefficiente di degrado F_{deg} .

- Opportunamente inoltre, detta fase di valutazione prevede di calcolare detto coefficiente
 20 di degrado F_{deg} sulla base del valore di detta capacità effettiva C_{eff} di ciascuna stringa 2 di celle 3 e preferibilmente anche sulla base del valore del rendimento energetico η .

In accordo con una forma realizzativa preferenziale della presente invenzione, la fase di valutazione prevede di riportare detto valore di detta capacità effettiva C_{eff} e/o valore

di detto rendimento energetico η e/o valore di detta energia dispersa A_c con i rispettivi valori nominali C_{nom} , η_{nom} , A_{cnom} .

Normalmente, i valori nominali sono valori di targa del fornitore scelti dal progettista.

Più in dettaglio, il progettista della batteria sceglie il modello di cella 3 con cui costruirla
5 ed il modo di assemblarla (definendo il numero di celle da connettere in parallelo a costituire le stringhe 2 ed il numero di queste da collegare in serie) in base alle prestazioni richieste dalla particolare applicazione e delle caratteristiche tecniche della cella. In generale il costruttore fornisce la capacità effettiva della cella a vari regimi di scarica, le curve di tensione V_c corrispondenti a questi regimi, la capacità nominale ed altre
10 indicazioni.

Il progettista decide, in base all'applicazione, quale sia il massimo valore accettabile di degrado ed il coefficiente massimo F_{max} di degrado accettabile delle prestazioni della batteria e tramuta questo valore nella riduzione di capacità effettiva della singola cella o del gruppo di celle e di incremento della Resistenza interna R della cella. In base quindi ai
15 dati forniti dal costruttore e a queste considerazioni si definiscono i valori numerici delle grandezze nominali.

In altre parole, il metodo secondo l'invenzione utilizza vantaggiosamente tre grandezze, valutate durante le fasi operative di scarica e ricarica, che fungono da indicatori per la costruzione del coefficiente di degrado F_{deg} , che ne rappresenta una combinazione: la
20 capacità effettiva di ogni stringa 2 di celle 3 C_{eff} , il rendimento sulle fasi di scarica e ricarica η , e l'energia dispersa A_c (che, come descritto in dettaglio nel seguito è calcolata come l'area A_c sottesa dalla curva chiusa DOD- V_c) ottenuta durante le fasi di scarica e ricarica. Una volta calcolati i valori numerici delle suddette tre grandezze utilizzate per la costruzione del coefficiente di degrado F_{deg} , esse vengono rapportate ai corrispondenti
25 valori nominali e/o di fine vita scelti per l'applicazione specifica.

Vantaggiosamente, la prima fase di calcolo, la seconda fase di calcolo e la terza fase di calcolo del metodo secondo l'invenzione prevedono opportunamente di calcolare integrando numericamente l'andamento della tensione di ogni stringa 2 di celle 3, in particolare in funzione del tempo di scarica t_{sc} e/o del tempo di ricarica t_c e/o della corrente di scarica I_{sc} e/o della corrente di ricarica I_c .

Infatti, l'integrazione numerica è una operazione ben condizionata (i.e. il risultato dell'integrazione numerica è meno influenzato dagli errori di misura, rispetto ad esempio all'operazione di derivazione numerica), ne consegue che per realizzare il metodo secondo l'invenzione non è richiesta una attrezzatura sperimentale sofisticata.

Opportunamente, detta fase di valutazione prevede di calcolare detto coefficiente di degrado F_{deg} mediante la formula:

$$F_{deg} = P_1 \left(1 - \frac{C_{eff}}{C_{nom}} \right) + P_2 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_{nom}} \right) + P_3 \left(1 - \frac{A_{cnom}}{A_c} \right);$$

in cui P_1 , P_2 , P_3 sono coefficienti variabili.

Più in dettaglio, i coefficienti variabili P_1 , P_2 , P_3 sono vantaggiosamente decisi dal progettista in base alle esigenze dell'applicazione, in cui P_1 è legato alla capacità residua (energia disponibile), P_2 alle perdite interne (resistenza e potenza erogabile) e P_3 sia alla capacità che alla resistenza.

Vantaggiosamente, detta fase di comparazione prevede di comparare detto coefficiente di degrado F_{deg} con un valore nullo, e identificare lo stato di salute di detta batteria 1.

Più in dettaglio, se il coefficiente di degrado F_{deg} è minore di zero, la stringa 2 di celle 3 è in uno stato di salute migliore di uno stato di salute nominale; se il coefficiente di degrado F_{deg} è maggiore di zero, la stringa 2 di celle 3 è in uno stato di salute peggiore dello stato di salute nominale.

Opportunamente inoltre, detta fase di comparazione prevede di comparare detto coefficiente di degrado F_{deg} con detto valore massimo di degrado F_{max} . Più in dettaglio,

se il coefficiente di degrado F_{deg} è compreso tra zero ed il coefficiente massimo F_{max} , la stringa 2 è in uno stato di salute operativo ed accettabile; se il coefficiente di degrado F_{deg} è maggiore o uguale al coefficiente massimo F_{max} è in uno stato di salute non operativo e non accettabile e pertanto la batteria 1 è destinata ad essere ritirata.

- 5 Vantaggiosamente, detta fase di scarica e detta fase di ricarica prevedono di misurare la suddetta tensione operativa V_c di ciascuna stringa 2 di celle 3 ed una profondità di scarica DOD sulla base del valore di detta capacità effettiva C_{eff} .

Operativamente, inizialmente la stringa 2 di celle 3 della batteria 1 è a riposo, con la tensione ai suoi capi pari alla forza elettromotrice (FEM) e coincidente con la massima
10 tensione di lavoro $E_0 = V_{cmax}$ (a cui corrisponde uno stato di carica massimo $SOC=1$). Successivamente la stringa 2 di celle 3 è scaricata, durante la fase di scarica secondo il metodo, con una corrente costante pari preferibilmente a circa metà del valore della capacità nominale ($0.5 C$) fino a raggiungere la V_{sc} , ovvero la minima tensione di lavoro (V_{cmax} e V_{sc} sono dati forniti normalmente dal costruttore).

- 15 Successivamente, segue la fase di ricarica, preferibilmente a $0.5 C$, fino a raggiungere di nuovo il valore V_{cmax} , quindi si prosegue opportunamente la fase di ricarica riducendo progressivamente la corrente di ricarica I_c in modo da mantenere costante la tensione di cella (i.e. una carica a tensione costante).

Operativamente, quando la corrente di ricarica I_c scende sotto un valore minimo
20 prefissato (indicato dal costruttore o dalle norme) a cui si associa la condizione di cella completamente carica, si interrompe la fase di ricarica.

Da quanto detto risulta chiaramente che il metodo per determinare lo stato di salute di una batteria, secondo l'invenzione, si presenta particolarmente vantaggioso in quanto:

- consente di rilevare lo stato di salute non solo dell'intera batteria, ma è anche in
25 grado di rilevare lo stato di salute delle stringhe di celle che compongono la batteria

medesima;

- utilizza strumentazione economica e facilmente reperibile, ovviando alla necessità di utilizzare strumentazione complessa e/o costosa;
- è computazionalmente poco esoso, i.e. ovvia alla necessità di utilizzare calcoli
5 numerici mal condizionati;
- è facile da implementare;
- consente di realizzare una diagnostica della batteria nelle parti che la compongono;
- utilizza test semplici da realizzare, in particolare test di normale manutenzione della batteria medesima di scarica e ricarica della batteria;
- 10 - evita di effettuare le misure delle resistenze ed impedenze interne della batteria, ovviando quindi alla necessità di utilizzare strumentazione complessa e costosa;
- è funzionalmente del tutto affidabile;
- risulta alternativo e migliorativo rispetto alle soluzioni tradizionali;
- ha una configurazione migliorativa, sia in termini costruttivi sia in termini
15 funzionali, rispetto alle soluzioni tradizionali.

La presente invenzione è stata illustrata e descritta in una sua preferita forma di realizzazione, ma si intende che varianti esecutive potranno ad essa in pratica apportarsi, senza peraltro uscire dall'ambito di protezione del presente brevetto per invenzione industriale.

20

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per determinare lo stato di salute di almeno una batteria elettrica, in cui detta batteria (1) comprende almeno due stringhe (2) di celle (3) tra loro elettricamente collegate ed almeno un'unità elettronica di controllo elettricamente collegata almeno a
- 5 dette almeno due stringhe (2), in cui detto metodo comprende almeno le seguenti fasi operative:
- una fase di predisposizione di detta batteria (1) in una configurazione carica con una tensione di carica (E_0) sostanzialmente costante;
 - una fase di scarica di dette stringhe (2) di dette celle (3) di detta batteria (1) con

10 una corrente di scarica (I_{sc}), preferibilmente sostanzialmente costante, in cui detta unità elettronica di controllo misura in maniera continua una prima tensione ai capi dette stringhe (2) ed un tempo di scarica (t_{sc}) impiegato per scaricare detta batteria (1) con detta corrente di scarica (I_{sc}) fino al raggiungimento, da parte di almeno una di dette stringhe (2), di una tensione di scarica (V_{sc});

15 - una fase di pausa, in cui detta corrente di scarica (I_{sc}) è sostanzialmente annullata ed in cui dette stringhe (2) stabilizzano dette tensioni di scarica (V_{sc}) fino al raggiungimento di rispettive tensioni a vuoto stabilizzate (E_1); - una fase di ricarica di detta batteria (1) con una corrente di ricarica (I_c), in cui detta unità elettronica di controllo misura in maniera continua una seconda tensione ai capi

20 dette stringhe (2) ed un tempo di ricarica (t_c) impiegato per ricaricare detta batteria (1) con detta corrente di ricarica; - una prima fase di calcolo di un valore di capacità effettiva (C_{eff}) di ciascuna stringa (2) di celle (3) sulla base del valore di detta corrente di scarica (I_{sc}) ed il valore di detto tempo di scarica (t_{sc}) e/o il valore di detta corrente di ricarica (I_c) ed il valore di detto

25 tempo di ricarica (t_c) e sulla base del valore di detta tensione di scarica (V_{sc}) e sulla base

di dette tensioni a vuoto stabilizzate (E1);

- una seconda fase di calcolo di un valore proporzionale ad un'energia (Ac) dispersa durante la fase di scarica e la fase di ricarica, sulla base di detta prima tensione e/o detta seconda tensione ai capi di detta cella (3) e/o detta stringa (2) e sulla base del valore di detta corrente di scarica (Isc) ed il valore di detto tempo di scarica (tsc) e/o il valore di detta corrente di ricarica (Ic) ed il valore di detto tempo di ricarica (tc) e sulla base del valore di detta capacità effettiva (Ceff) e
- almeno una fase di valutazione di almeno un coefficiente di degrado (Fdeg) di ciascuna detta stringa (2) di detta batteria (1) sulla base almeno del valore proporzionale di detta energia (Ac) dispersa;
- almeno una fase di comparazione di detto coefficiente di degrado (Fdeg) con un valore massimo di degrado (Fmax) per definire lo stato di salute di detta batteria.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere almeno una terza fase di calcolo, in cui detta unità elettronica di controllo calcola almeno un valore di rendimento energetico (η) della fase di scarica e della fase di ricarica e dal fatto che detta fase di valutazione prevede di calcolare detto coefficiente di degrado (Fdeg) sulla base del valore di detto rendimento energetico (η).

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di valutazione prevede di rapportare detto valore di detta capacità effettiva (Ceff) e/o valore di detto rendimento energetico (η) e/o valore di detta energia dispersa (Ac) con i rispettivi valori nominali (Cnom, η_{nom} , Acnom).

4. Metodo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detta fase di valutazione prevede di calcolare detto coefficiente di degrado mediante la formula:

$$F_{deg} = P_1 \left(1 - \frac{C_{eff}}{C_{nom}} \right) + P_2 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_{nom}} \right) + P_3 \left(1 - \frac{Ac_{nom}}{Ac} \right);$$

in cui P1, P2, P3 sono coefficienti variabili.

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase di comparazione prevede di comparare detto coefficiente di degrado (Fdeg) con un valore nullo, ed identificare lo stato di salute di detta batteria, in cui se il coefficiente di degrado (Fdeg) è minore di zero, la stringa (2) di celle (3) è in uno stato di salute migliore di uno stato di salute nominale; se il coefficiente di degrado (Fdeg) è maggiore di zero, la stringa (2) di celle (3) è in uno stato di salute peggiore dello stato di salute nominale.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta fase di comparazione prevede di comparare detto coefficiente di degrado (Fdeg) con detto valore massimo di degrado (Fmax), in cui se il coefficiente di degrado (Fdeg) è compreso tra zero ed il coefficiente massimo (Fmax) la stringa (2) è in uno stato di salute operativo ed accettabile; se il coefficiente di degrado (Fdeg) è maggiore o uguale al coefficiente massimo (Fmax) è in uno stato di salute non operativo e non accettabile.

7. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni da 2 a 6, caratterizzato dal fatto che detta fase di scarica e detta fase di ricarica prevedono di misurare una tensione operativa (Vc) di ciascuna stringa (2) di celle (3) ed una profondità di scarica (DOD) sulla base del valore di detta capacità effettiva (Ceff);

e dal fatto che detta energia dispersa (Ac) è calcolata in detta terza fase di calcolo come l'area sottesa tra la tensione operativa (Vc) al variare di detta profondità di scarica (DOD).

8. Metodo secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detta energia dispersa Ac è calcolata secondo la formula:

$$A_c = \int_{DOD_i}^{DOD_f} V_{ab}(t) DOD(t) dt$$

in cui:

$$DOD(t) = \frac{1}{3600 C_{eff}} \int_{t_i}^t i dt$$

ed in cui DODi è la profondità di scarica all'inizio di detta fase di scarica e/o detta fase di

ricarica ed in cui DODf è la profondità di scarica alla fine di detta fase di scarica e/o detta fase di ricarica.

9. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni da 2 a 8, caratterizzato dal fatto che detta energia dispersa (A_c) è proporzionale al degrado di detta batteria (1).
- 5 10. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di prevedere calcoli numerici che non comprendono derivate.

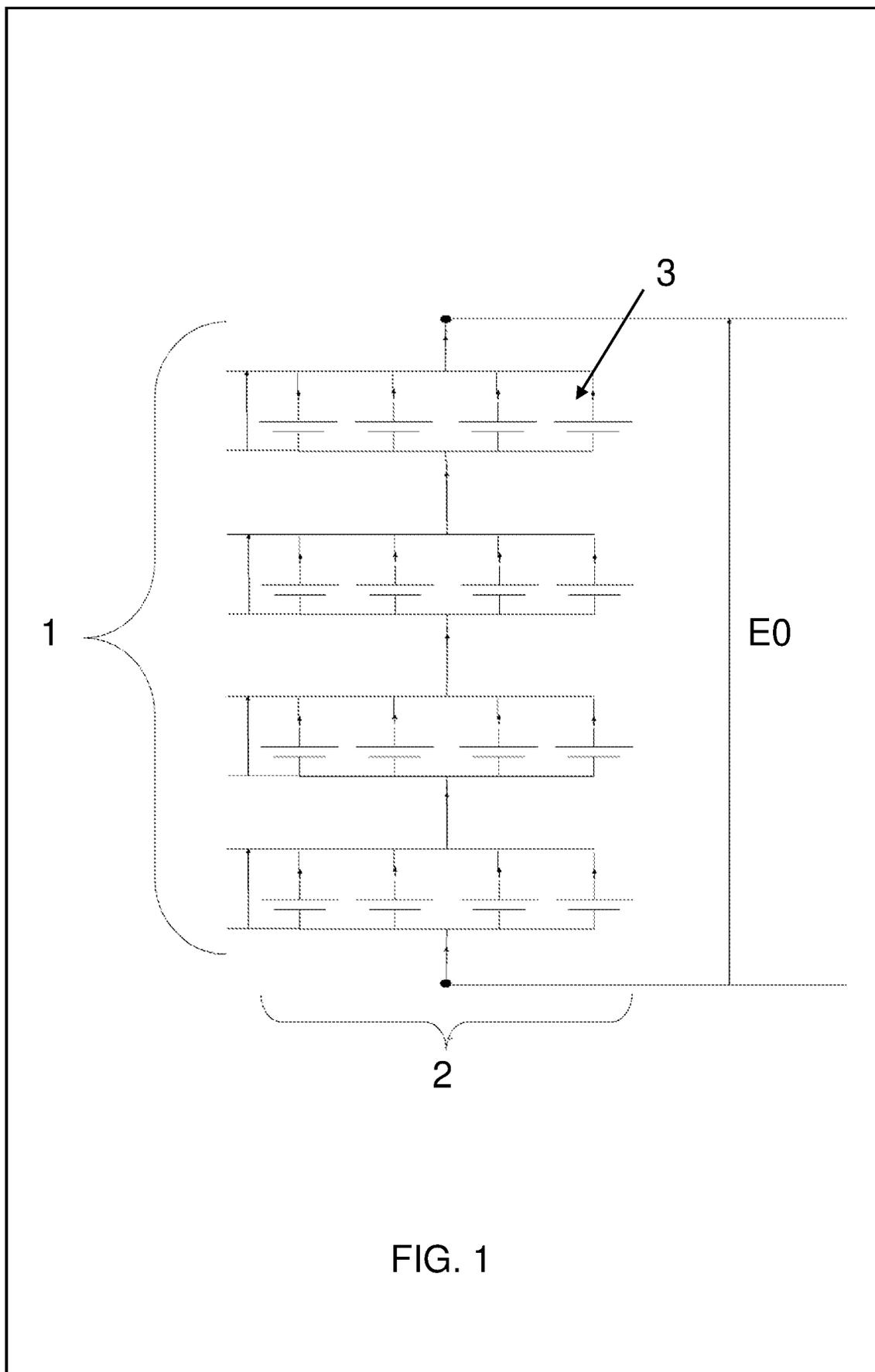


FIG. 1

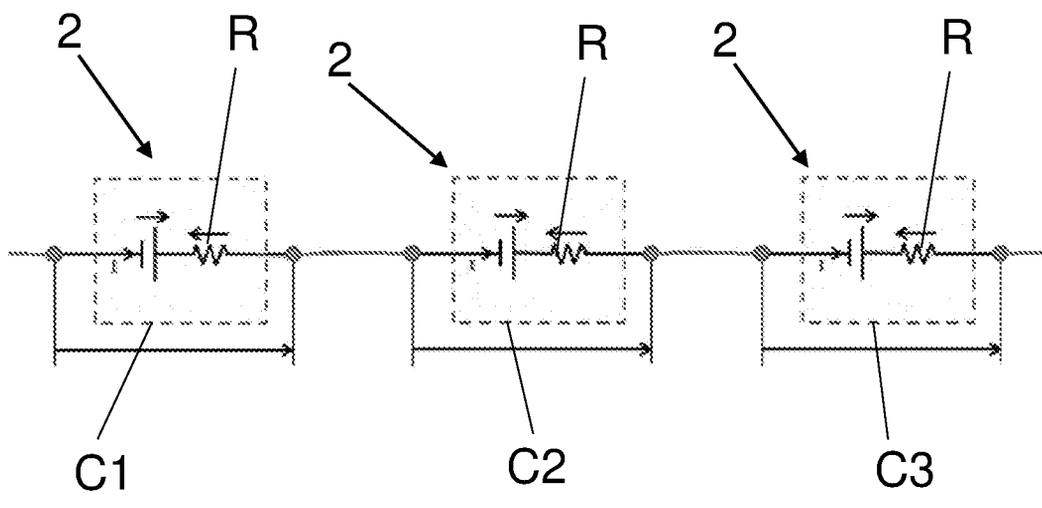


FIG. 2

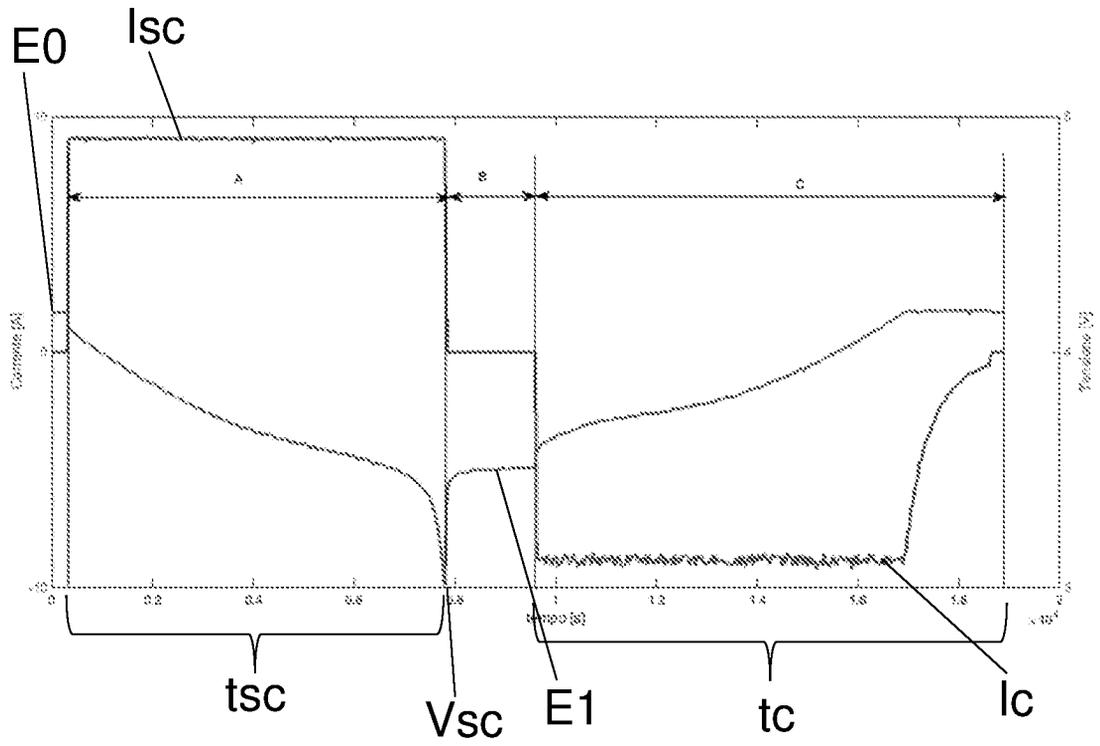


FIG. 3

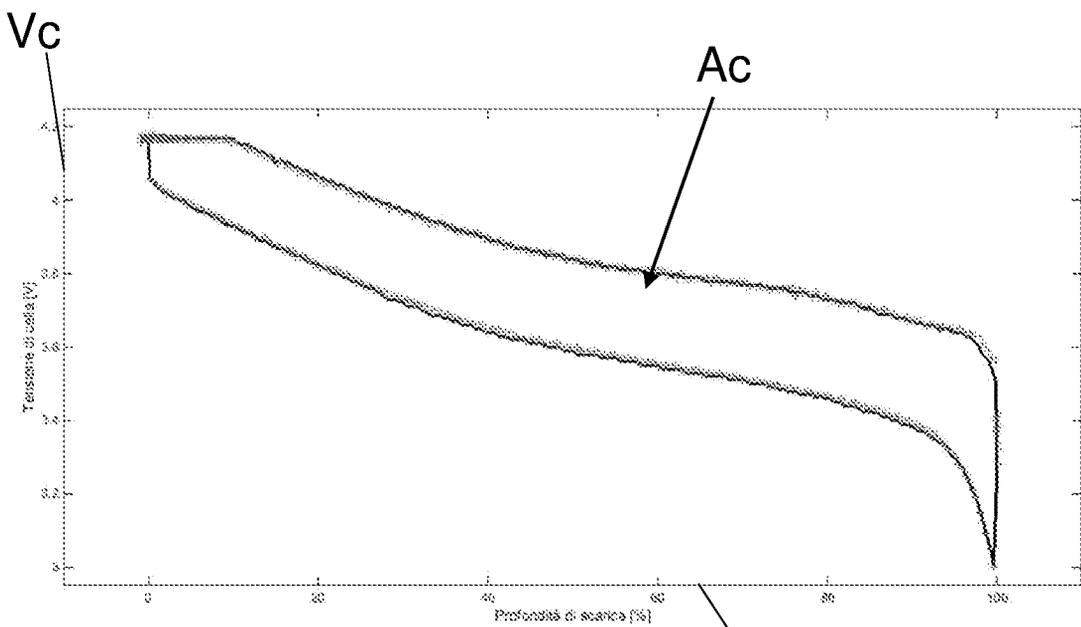


FIG. 4 DOD

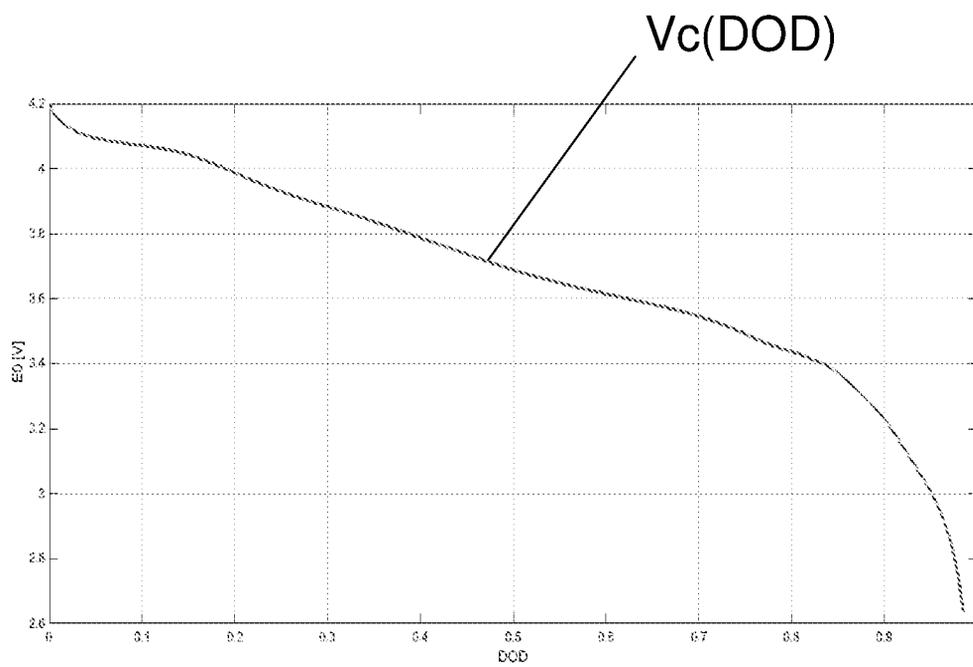


FIG. 5

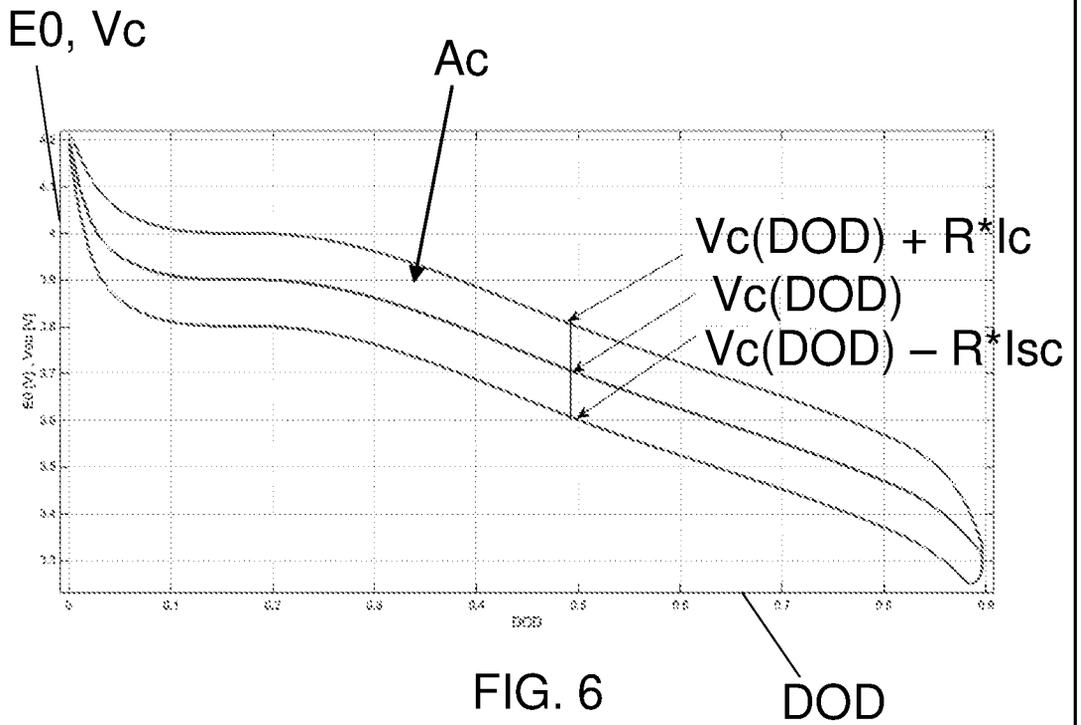


FIG. 6

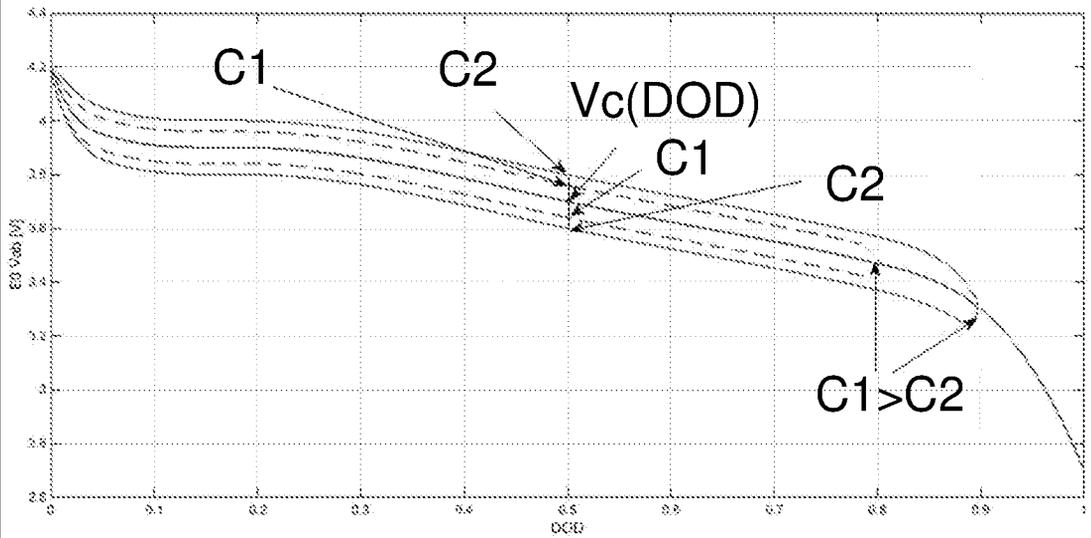


FIG. 7