

# Elettronica di potenza e di controllo

## Modulo su batterie e driver motori

### 06. Modelli di batterie

Roberto Roncella



# Modelli di celle al litio (cap 11)

- Importanza della disponibilità di un modello
  - Definizione completa dello stato della cella
    - A partire dalle variabili osservabili/misurabili
      - Tensione, corrente e temperatura
  - Predicibilità del comportamento
    - A partire dallo stato e dal profilo d'uso
      - SoC e corrente (o potenza) erogata/assorbita

# Tipi di modelli per celle

## ➤ Modello fisico-elettrochimico

- Basato sulle equazioni che governano il funzionamento a livello ionico
  - Mette in relazione i comportamenti esterni con il funzionamento effettivo
  - Necessita della conoscenza accurata dei parametri costruttivi
  - Complesso computazionalmente

## ➤ Modello elettrico

- Ricavato dall'analisi dei comportamenti osservabili
  - Empirico, necessita dell'esecuzione di numerose prove sulle celle
  - Non richiede una conoscenza approfondita dell'interno della cella
  - Coerente con gli strumenti di simulazione del sistema elettrico
  - Complessità abbordabile

# Assunzioni per un modello elettrico

- Stato della cella: SoC
  - Quantità di carica in rapporto alla carica massima
    - Tra le due soglie di cut-off
    - A temperatura fissata
- Curva OCV-SoC
  - Tensione a vuoto a regime
    - Invariante rispetto a diversi parametri
  - Monotona crescente
    - Le due grandezze sono legate e dalla conoscenza di una si ricava l'altra

# Circuito di Thévenin

## ➤ Generatore e resistenza interna

➤  $V_o(\text{SoC}, T)$

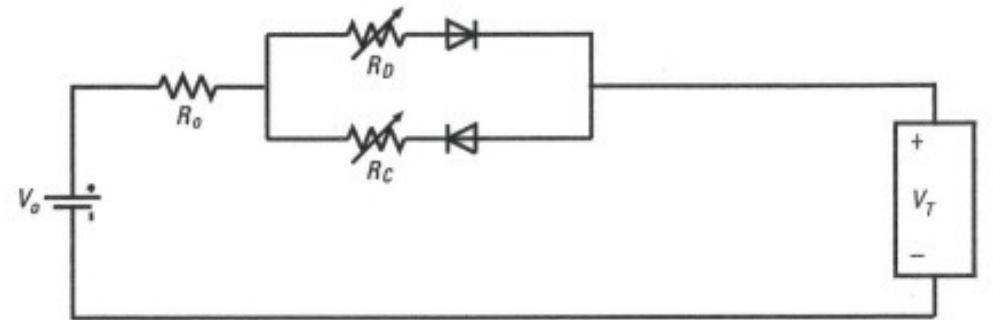
➤  $R_i(\text{SoC}, T)$

➤ La resistenza interna si può sdoppiare (carica/scarica)

➤  $d\text{SoC}/dt = I(t)/C$

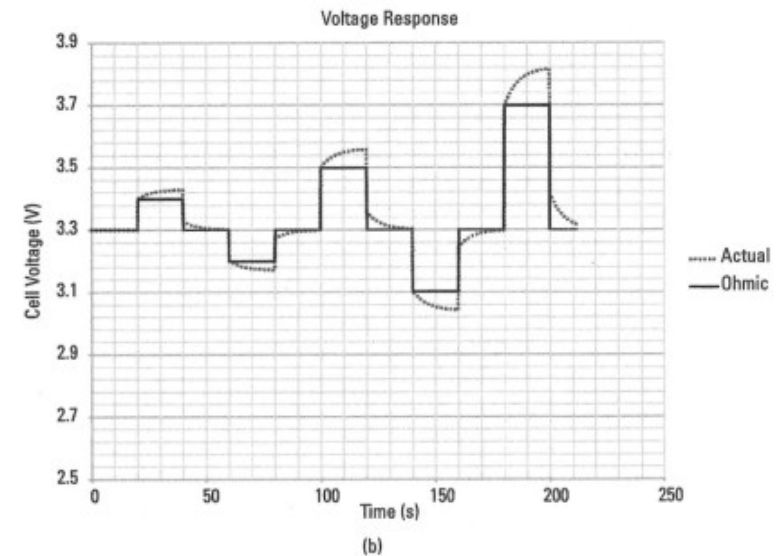
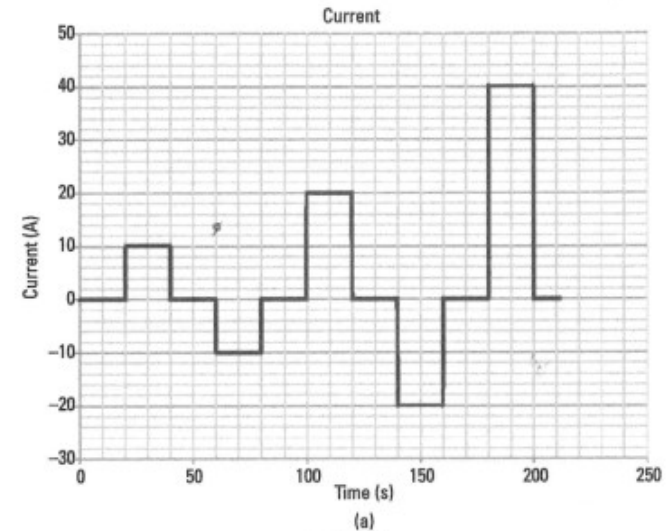
➤  $I(t)$ : corrente

➤  $C$ : capacità della cella



# Limiti di un modello resistivo

- Non tiene conto degli effetti dinamici
  - Solo della variazione di SoC
  - La tensione ha una variazione immediata, ma poi prosegue con andamento  $\sim \exp$
- Cause
  - Resistenza di trasferimento di carica
  - Capacità di doppio strato
  - Diffusione

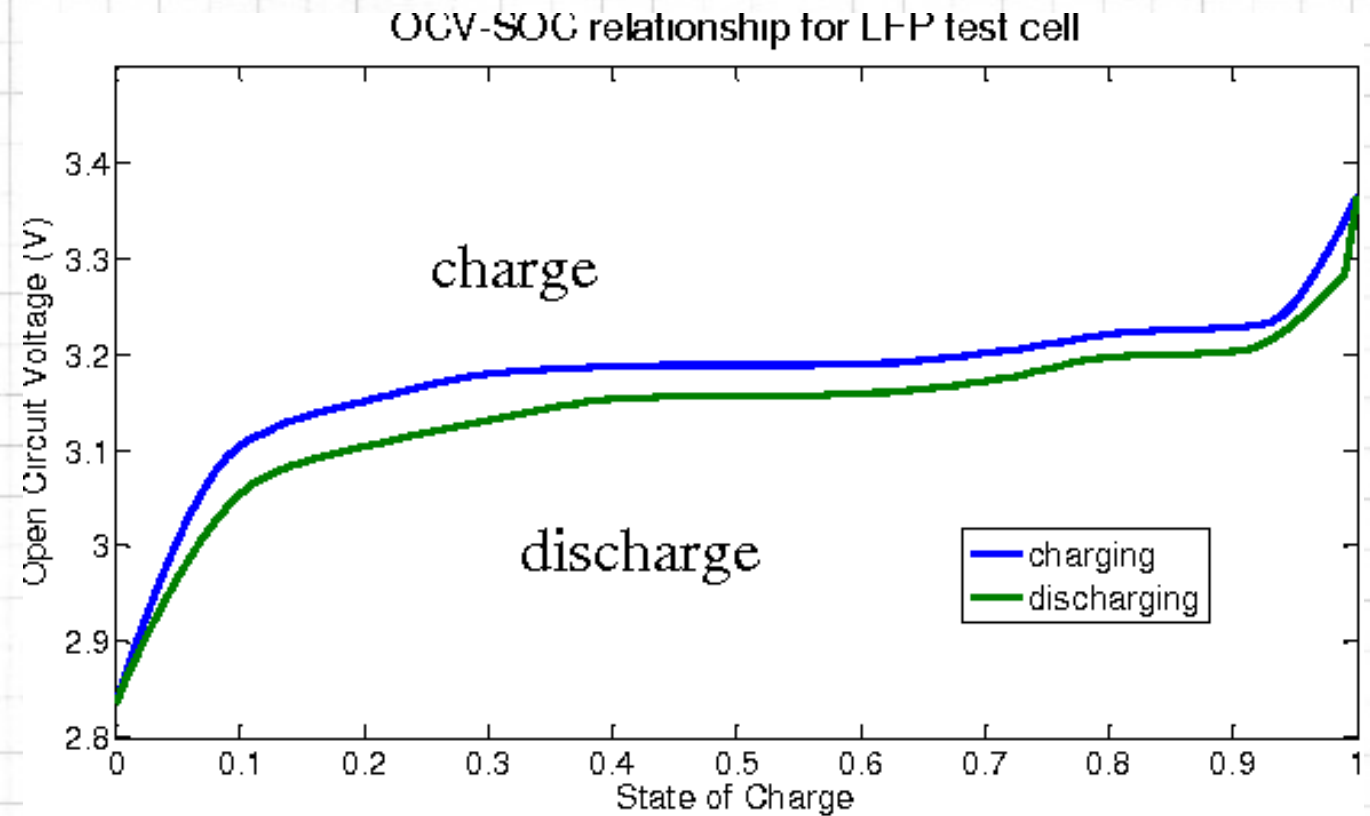


# Modello di Randles

- Al modello di Thevenin sono aggiunti gruppi RC paralleli (1, 2 o più)
  - Con costanti di tempo diverse
    - Dalle decine di secondi a molti minuti
  - Tutti i parametri dipendono da SoC, T
    - E cambiano anche durante la vita della batteria

# Isteresi

- La curva OCV-SoC può essere diversa
  - In carica/scarica





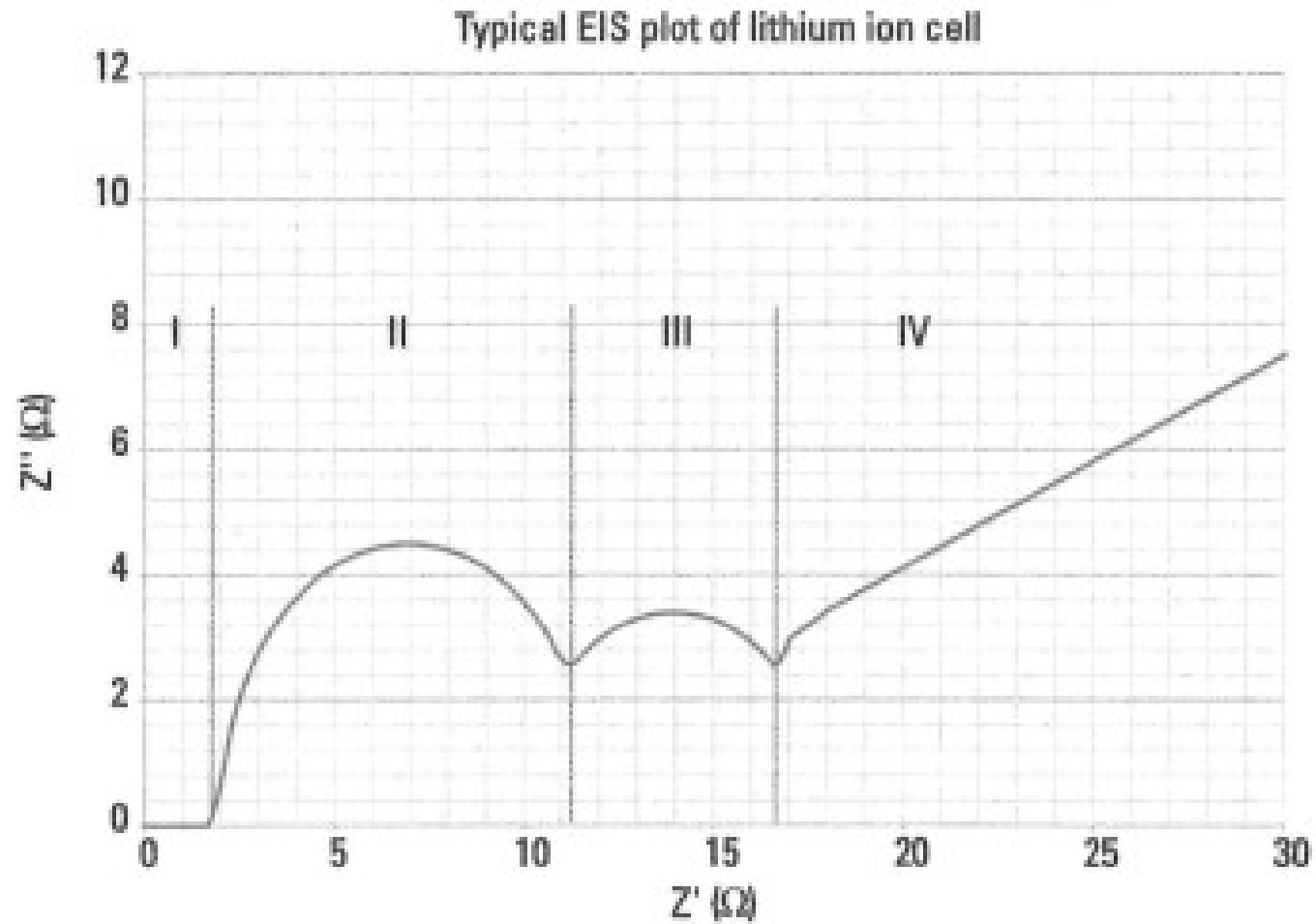
# Efficienza coulombica

- Prossima all'unità (>99)
  - Assenza di reazioni parassite
    - Come in altre chimiche (elettrolisi, ecc.)
  - SoC legato al conteggio dei coulomb
    - In relazione alla capacità effettiva della cella
    - La carica perduta porta a degradazione della capacità

# Constant phase elements

- Elementi capacitivi a fase costante
  - Approssimano meglio dei C gli elementi capacitivi
  - Tengono conto della variabilità delle perdite con  $f$ 
    - Dielettrici imperfetti
    - Moti ionici
  - Modellabili con reti polo/zero

# Electrical Impedance Spectroscopy



# Modelli per l'autoscarica

- Dipende dalla temperatura e dal SoC
  - Caratterizzata con prove di laboratorio
    - A vari SoC, in camera termica
    - Misura di corrente a  $V$  imposta
      - A regime dopo diverse ore
  - Il BMS non può misurarla
    - Può stimarla a partire dalla variazione di OCV
    - A priori, dalla misura delle condizioni ambientali