

# Elettronica di potenza e di controllo

## Modulo su batterie e driver motori

### 02. Fondamenti sulle celle Li-Ion

Roberto Roncella



# Fondamenti sulle celle Li-Ion

- Tecnologia generale delle batterie matura
  - Altre chimiche hanno oltre 1 secolo di vita
- Peculiarità delle Li-Ion
  - [https://en.wikipedia.org/wiki/John\\_B.\\_Goodenough](https://en.wikipedia.org/wiki/John_B._Goodenough);
    - 1985, Sony corp.
  - Tecnologia spinta dai dispositivi digitale e di comunicazione personale
  - Gli ioni Li si intercalano nei materiali di anodo e catodo
    - Stabilità, alto numero di cicli di carica/scarica
    - Bassa corrente di aut scarica
    - Nessun “effetto memoria”
    - Elevatissima efficienza coulombica (>99%)

# Costituzione di una cella al litio

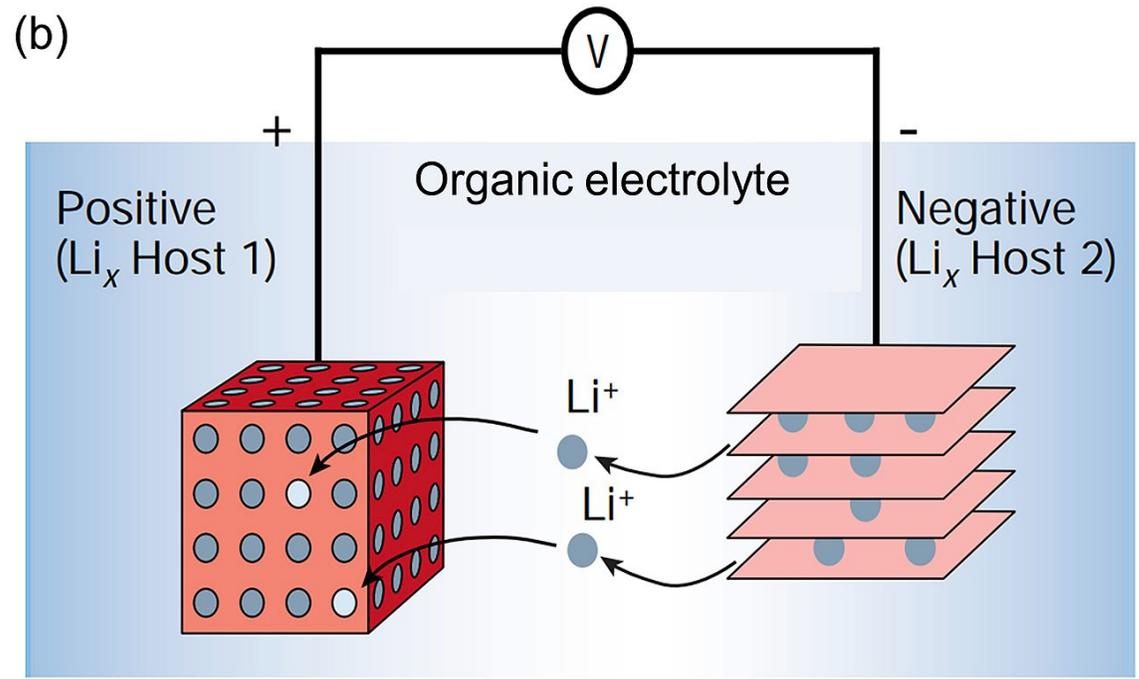
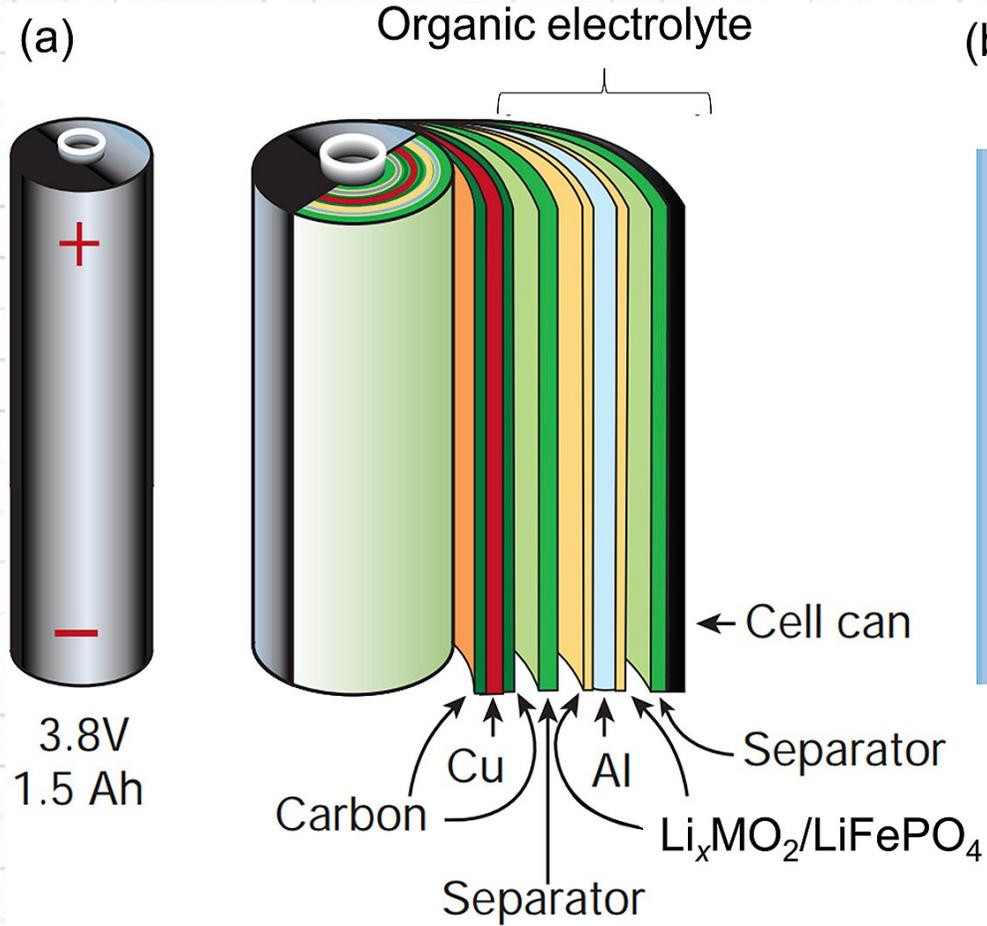
- **Elettrodo positivo: corrente uscente in scarica**
  - Spesso definito catodo (la parte in cui avviene la riduzione)
- **Elettrolita**
- **Separatore**
- **Elettrodo negativo: corrente entrante in scarica**
  - Spesso detto anodo (la parte in cui avviene l'ossidazione)
- **Collettori di corrente**
- **Contenitore**

# Cosa avviene durante la carica...

- Ioni Litio vanno internamente da catodo+ ad anodo- (tipicamente grafite con collettore in Cu)
  - Si inseriscono nel materiale attivo dell'anodo (grafite)
    - Rischio di formazione di placcatura metallica, con perdita di ioni litio (capacità) e rischio di perforazione del separatore
    - Rischio incrementato alle basse temperature
  - Elettroni entrano nell'anodo (combinandosi con  $\text{Li}^+$ )
  - A rigore, in carica anodo e catodo sarebbero scambiati...

# Cosa avviene durante la scarica...

- Ioni Litio vanno internamente da anodo- a catodo+ (tipicamente composto di Litio con collettore in Al)
  - Si inseriscono nel materiale attivo del catodo
  - Elettroni entrano nel catodo dove avviene la riduzione (diminuzione del numero di ossidazione, con acquisizione di elettroni da parte del Litio)

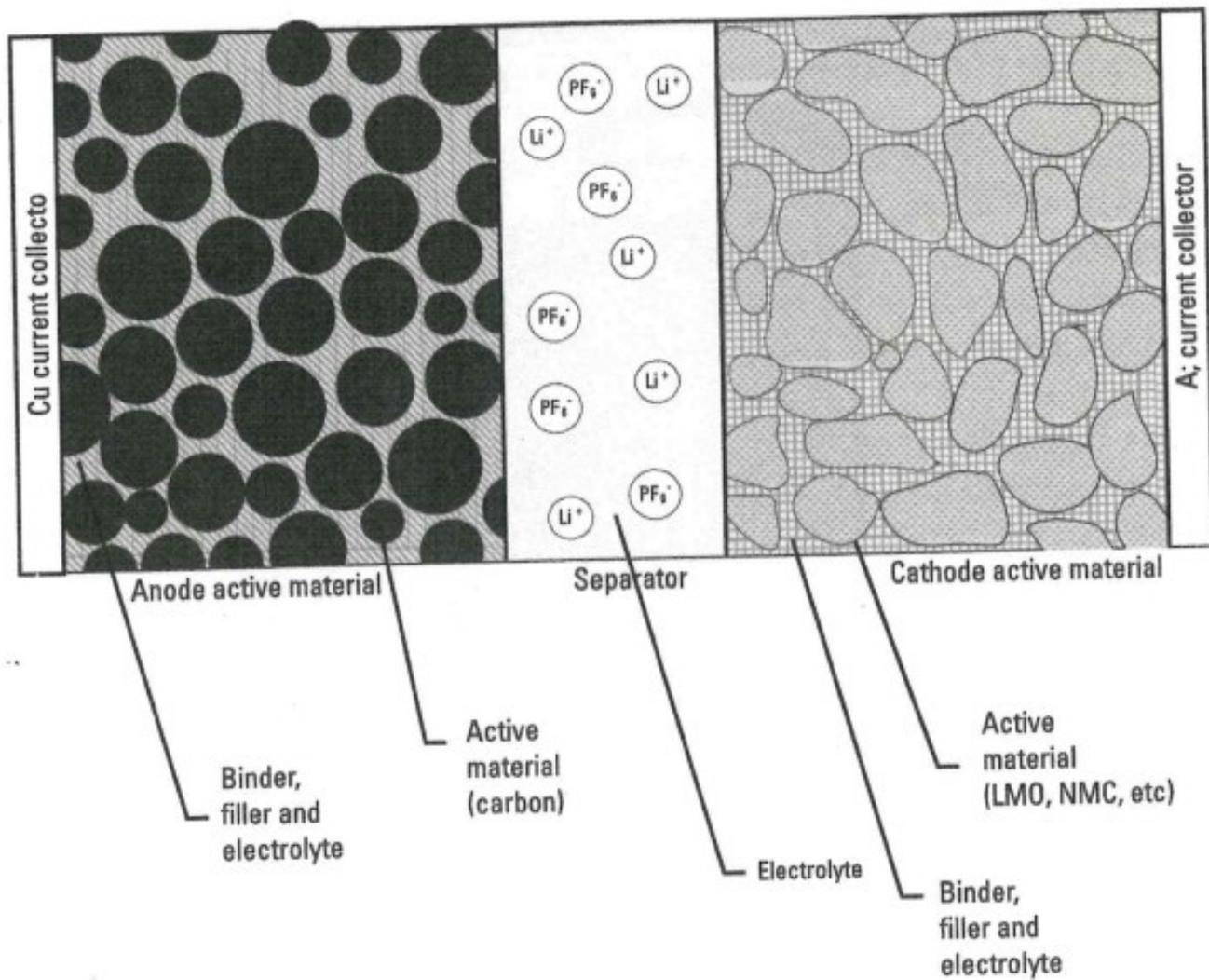


# Elettrolita

- Non può essere acquoso
  - Le tensioni in gioco ( $>2$  V) causerebbero elettrolisi
  - Solventi organici
    - Etilene carbonato (EC), Dietilene carbonato (DEC), Dimetilene carbonato (DMC)...
    - Il sale di litio disciolto nell'elettrolita è solitamente Esafluorofosfato di litio
    - A volte in forma di gel o polimerizzata (LiPO)
    - Non corrosivi ma **fortemente infiammabili** e instabili ad alte temperature

# Separatore

- Sottile lamina porosa, isolante elettricamente
  - Polimero poroso, permeabile agli ioni Litio
  - Polietilene, polipropilene
- Una lesione al separatore crea un cortocircuito
  - Causata dalla crescita di dendriti metallici
  - Conseguenze catastrofiche



# Il catodo (+)

- È l'elemento soggetto alla massima varietà
  - LCO: Litio, ossido di cobalto
    - Tra i primi a essere usato (18650, notebook)
    - Alta densità di energia, tra i più instabili
    - Costoso, tossico e con problemi ambientali/etici
  - LNO: Litio, ossido di Nickel
    - Alta densità di energia, ma ancora meno stabile di LCO
  - NMC: Litio, ossido di Nickel, Manganese, Cobalto
    - Attualmente molto diffuso, con vari blend: buona affidabilità, sicurezza
    - Alta densità di energia
    - Costo minore dovuto alla minore quantità di cobalto

# Il catodo (2)

- ... continua
  - NCA: Litio, ossido di cobalto e alluminio
    - Stabilità intermedia tra LCO e NMC
    - Tensione leggermente minore di LCO
    - Meno costoso, maggior durata
  - LMO: Litio, ossido di Manganese
    - Alta densità di potenza (migliore inserzione ioni litio)
    - Costo minore ma minore durata (il Mn si dissolve nell'elettrolita)
  - LFP: Litio, Ferro, Fosfato
    - Massima sicurezza e minimo costo
    - Minore densità di energia (tensioni 2,5-3,75 V; 90-140 Wh/kg)
    - Curva OCV-SOC piatta

# L'anodo (-)

- Le soluzioni per l'anodo sono più omogenee
  - Anodo basato su carbonio in varia forma
    - Grafite o altre forme
    - Importanza della strutturazione fisica delle particelle
    - Mix carbonio-silicio per aumentare la densità di ioni intercalati
  - LTO: Titanato di Litio
    - Minore densità di energia (90 Wh/kg)
    - Altissimo tasso di carica/scarica, con comportamento simmetrico
    - Altissima durata (anche un OdG rispetto agli anodi in grafite)

# Autoscarica

- Valore tipico delle Li-Ion
  - 3% al mese
  - Detta C la capacità della cella in Ah
  - La corrente di autoscarica vale
    - $0,03C/(30*24) = C/24$  mA
    - Per una cella da 2,4 Ah si hanno 100  $\mu$ A tipici
    - Per una cella da 60 Ah si hanno 2,5 mA
  - Pone un limite al consumo dell'elettronica ausiliaria
  - Causa perdite importanti per storage a lungo termine
    - Su base annuale, per energia solare

# Sicurezza

- Le celle al litio hanno limiti stringenti delle condizioni operative per lavorare in sicurezza
  - Safe Operating Area
- Non tollerano abusi
  - Elettrici, termici, meccanici
- I guasti sono normalmente catastrofici
  - Fuga termica, con esplosione, incendio, fuoriuscita di materiale (anche tossico)



Boeing 787, 2012-13



Samsung Galaxy Note 7, 2016



# Sicurezza (1)

- Fattori legati al profilo d'uso operativo
  - Sovra-carica
  - Sotto-scarica
  - Alte temperature
  - Basse temperature
  - Sovracorrenti
- La sezione di controllo può monitorare questi eventi e impedire che si presentino (eventualmente dialogando con l'applicazione)

# Sicurezza (2)

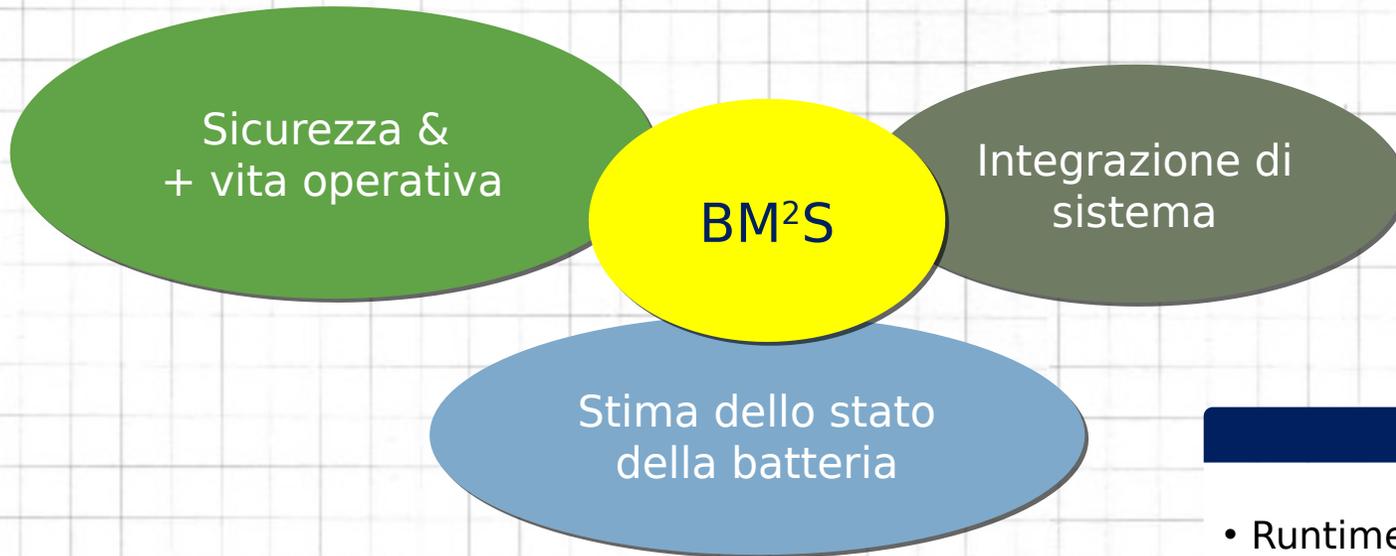
- Fattori congeniti o legati alle condizioni di funzionamento
  - Difetti costruttivi interni
  - Sollecitazioni meccaniche, urti, penetrazione
  - Invecchiamento
- La sezione di controllo può evidenziare le conseguenze di questi fattori e anticipare guasti catastrofici

# Importanza del BMS

- Necessità di un sistema di controllo elettronico
  - Sovrintende alla sicurezza
  - Prolungamento della durata operativa
  - Mantenimento delle prestazioni nel tempo
  - Integrazione con il sistema in cui è applicata la batteria

- Tensione e corrente di batteria
- Misura delle tensioni e delle temperature di cella
- Controllo dell'interruttore principale
- Equalizzazione, bilanciamento
- Raffreddamento attivo
- Riconfigurazione dinamica

- Registrazione di Dati/Eventi
- Comunicazione con altri sottosistemi
- Diagnosi & Prognosi



- State-of-Charge (SOC)
- State-of-Health (SOH)
- State-of-Power (SOP)

**Applicazioni**

- Runtime (Autonomia)
- State-of-Functioning (SOF)
- Residual Useful Life (RUL)