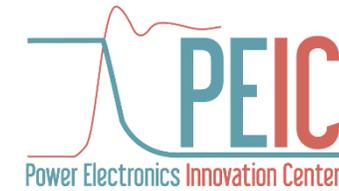




Politecnico  
di Torino



# Management of a Modular Battery System for Shipboard Application

Relatore:

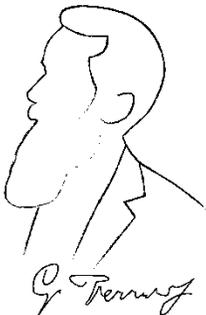
Prof. Michele Angelo Pastorelli

Dr. Fabio Mandrile

Prof. Salvatore Musumeci

Candidato:

Simone Mongelli



Dipartimento Energia "Galileo Ferraris"

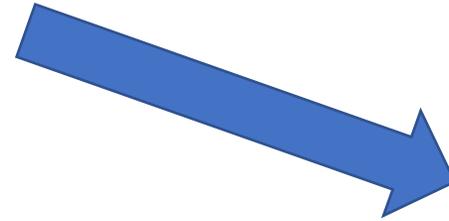
Politecnico di Torino, Italy

02/11/2022

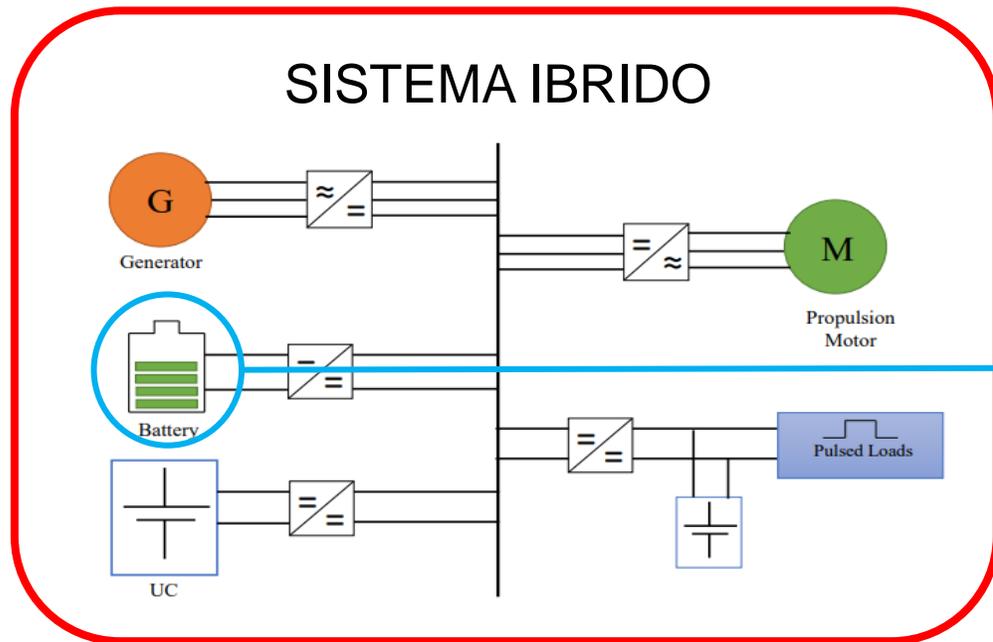


# Sistemi di Alimentazione in Ambito Navale

- Sistemi di bordo sempre più complessi
- Necessità di ridurre le emissioni e l'impatto ambientale



- Utilizzo di un sistema di alimentazione ibrido a minor impatto ambientale
- Possibilità di passare in modalità **full-electric**



L'obiettivo di questa tesi è quello di implementare un nuovo algoritmo di controllo per un sistema di accumulo modulare

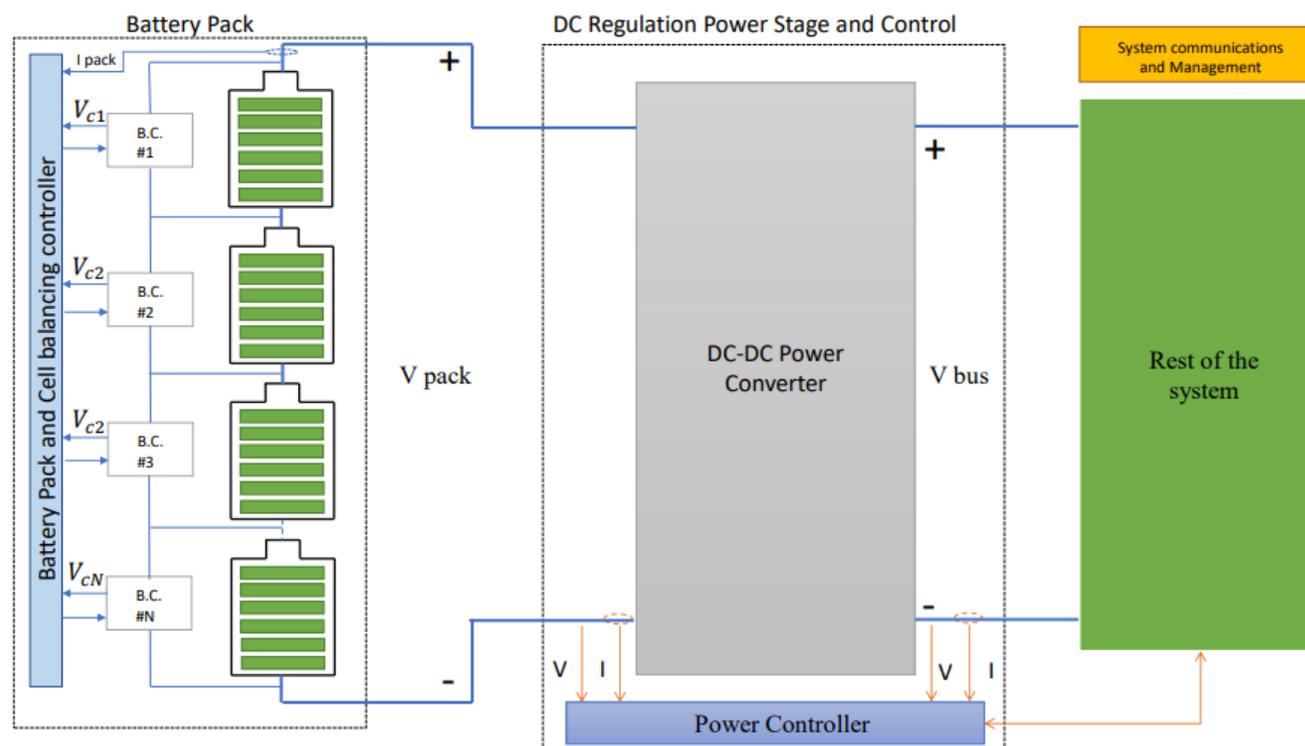
# Battery Energy Storage System (BESS)

- Differenti self discharge rate
- Processo di invecchiamento non uniforme
- Possibile divergenza dei SOC

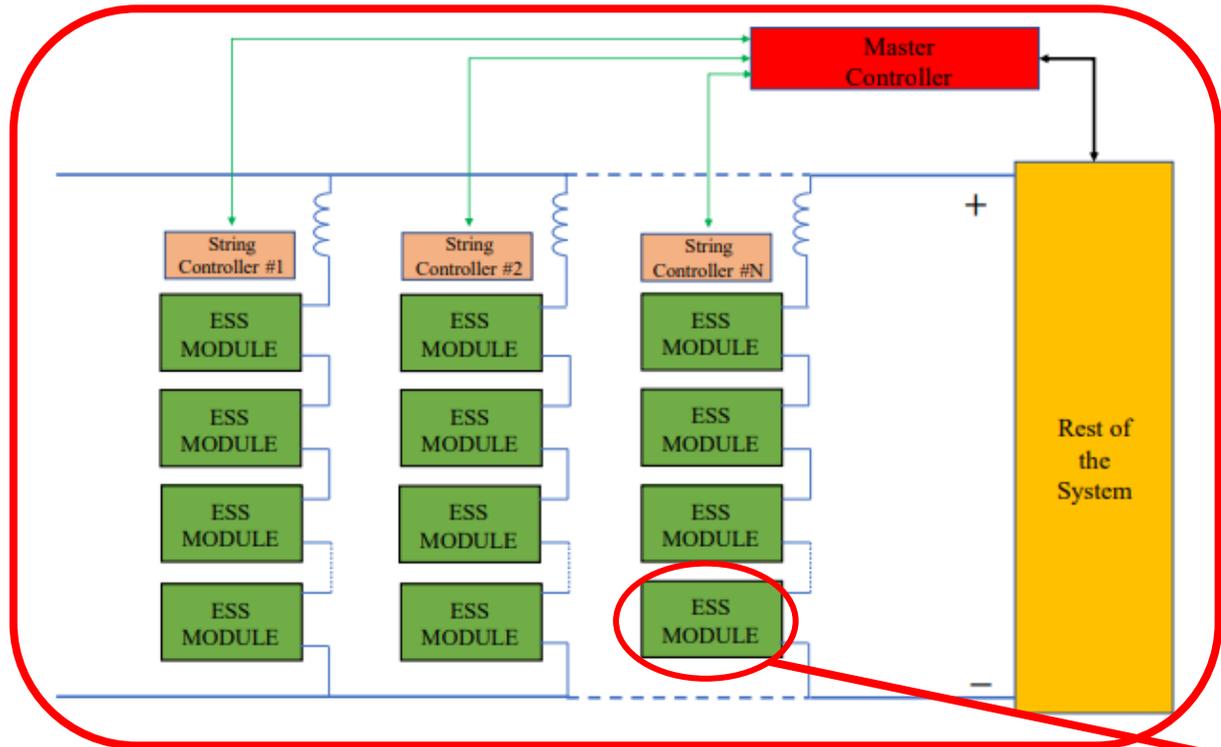


- Rischi di overcharge o deep discharge
- Deterioramento batterie
- Possibilità di incidenti

## SOLUZIONE CONVENZIONALE

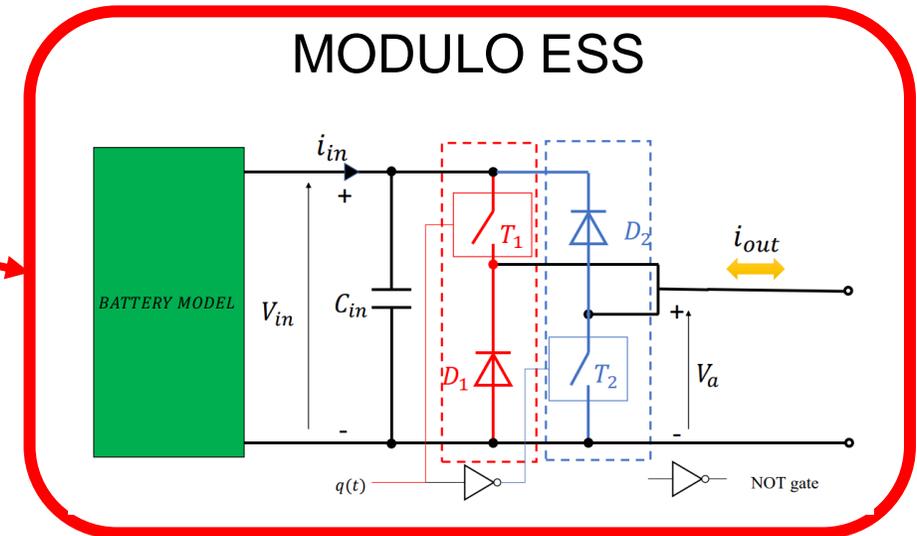


# BESS MODULARE



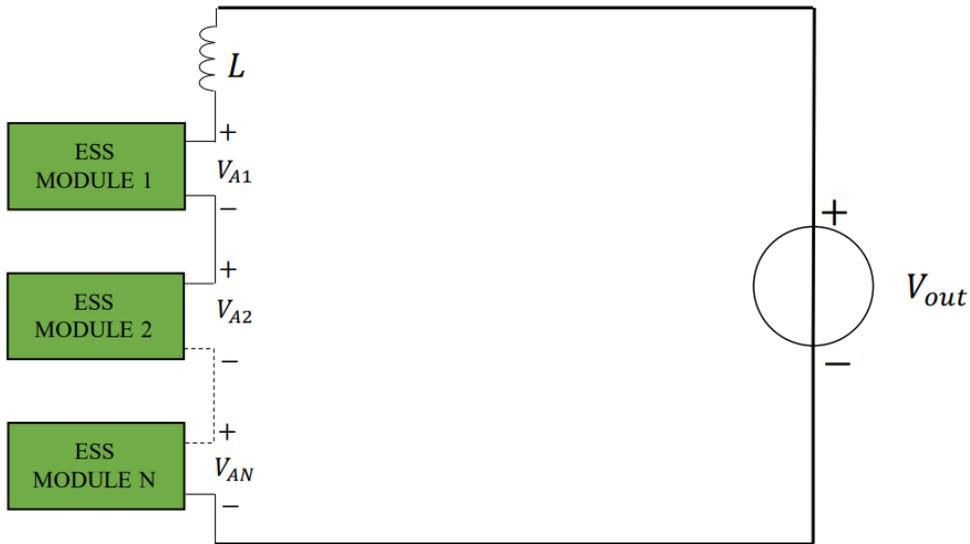
- Elevato livello di modularità
- Adeguato controllo del singolo modulo
- Necessita di un adeguato sistema di comunicazione e di una corretta sincronizzazione dei vari moduli

Come controllare correttamente il nuovo il sistema?



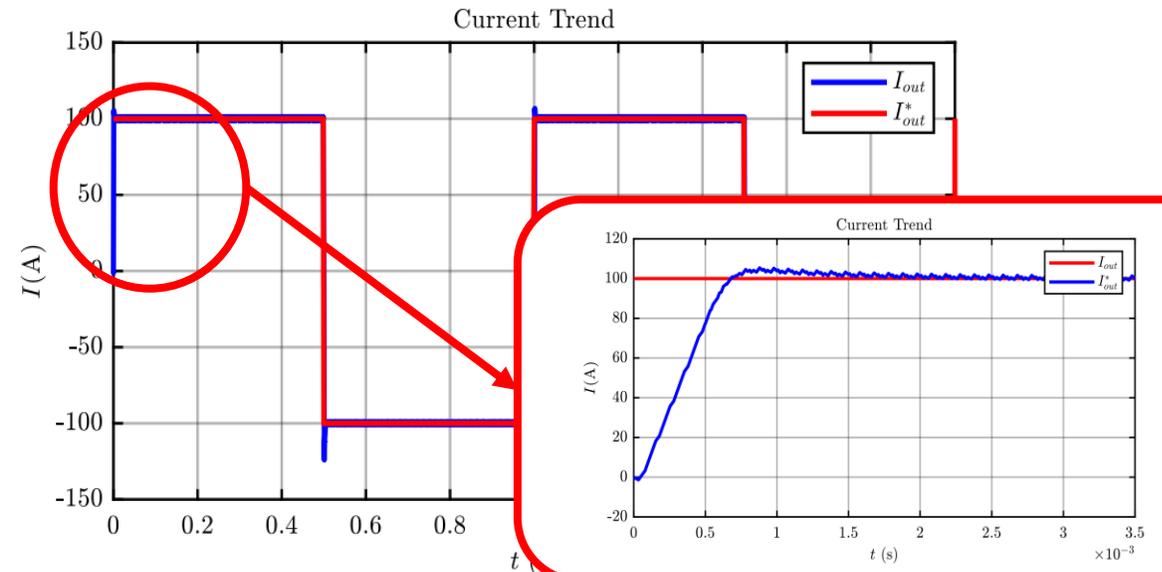
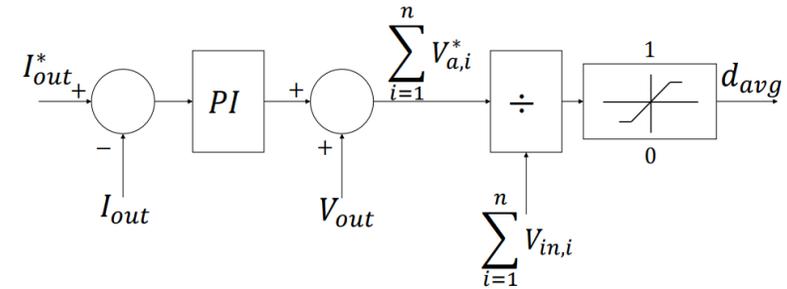
# Controllo di una Singola Stringa

Consideriamo un sistema formato da generatori ideali di tensione:



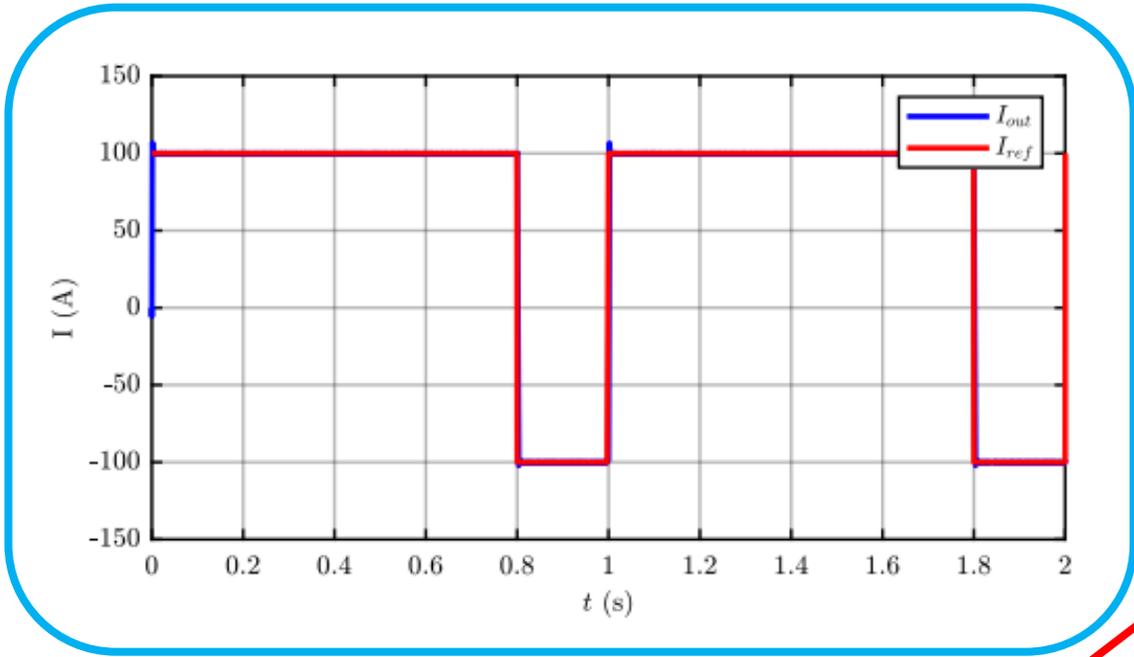
$$d_i = n \cdot d_{avg} \frac{V_{in,i}}{\sum_{i=1}^n V_{in,i}}$$

## Controllo di Corrente

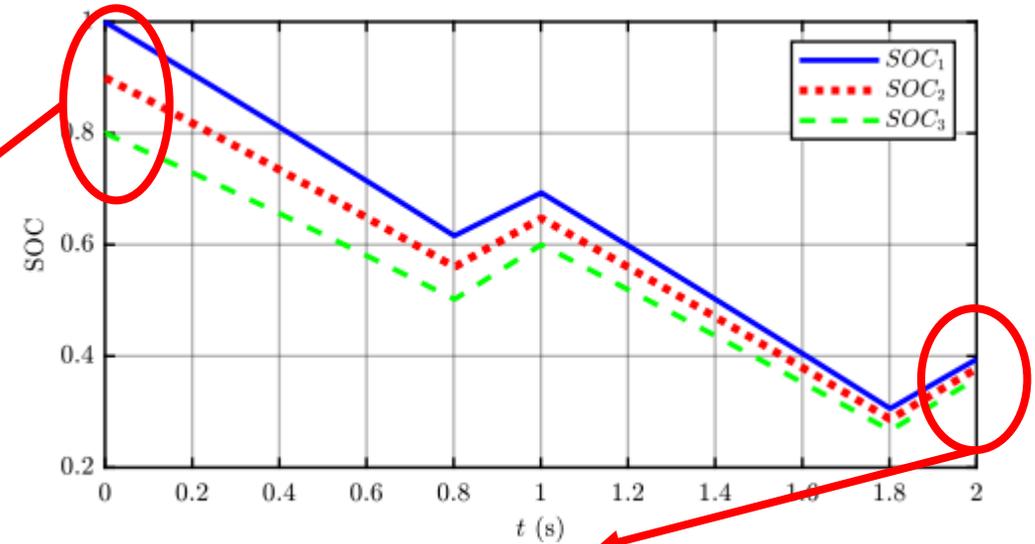




# Andamento della Corrente e del SOC for Battery Weights



Lo scopo delle simulazioni è quello di testare l'algoritmo di controllo, i tempi di simulazione ed i parametri di batteria sono stati impostati in modo da rendere visibile il funzionamento dell'algoritmo



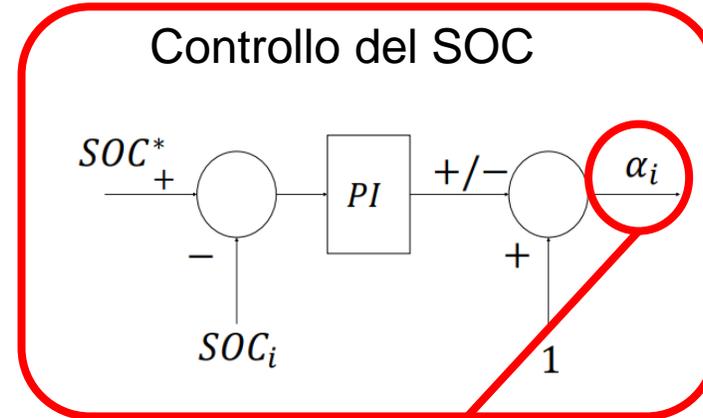
$SOC_1 = 100\%$   
 $SOC_2 = 90\%$   
 $SOC_3 = 80\%$

$SOC_1 = 39\%$   
 $SOC_2 = 37\%$   
 $SOC_3 = 36\%$

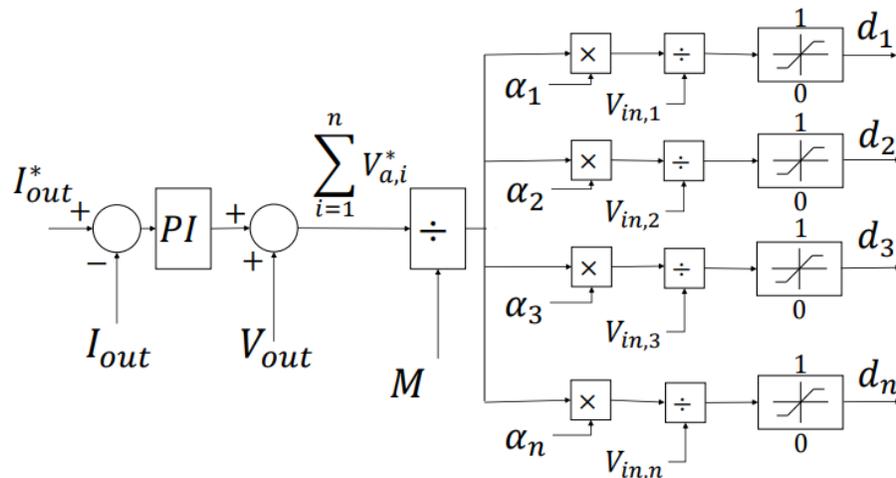
# Controllore dello Stato di Carica

- Controllo formato da due anelli
- Equalizzazione del SOC tramite un controllo ad anello chiuso

$$SOC^* = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i}{n}$$



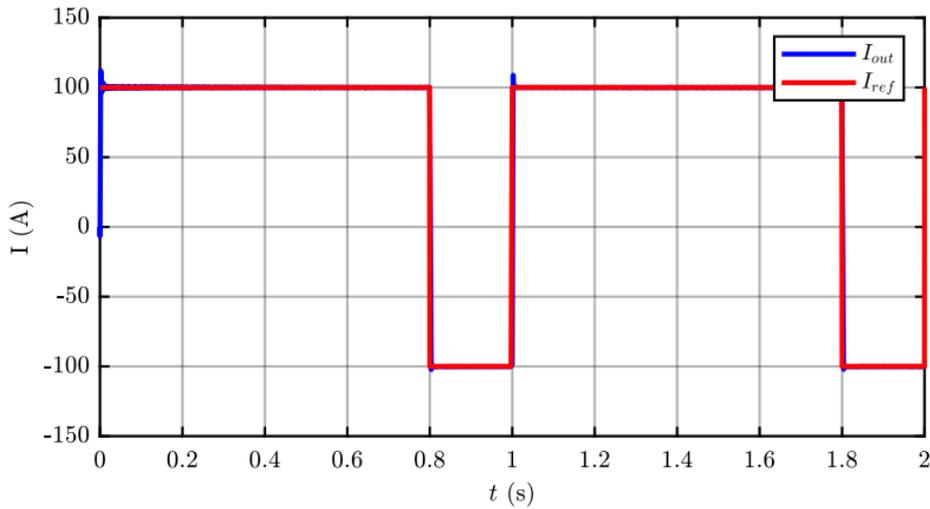
## Controllo di Corrente



$$\frac{dSOC_i}{dt} = \alpha_i \left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{a,i}^*}{M} \right) \cdot \frac{I_{out}}{C \cdot V_{batt,i}}$$

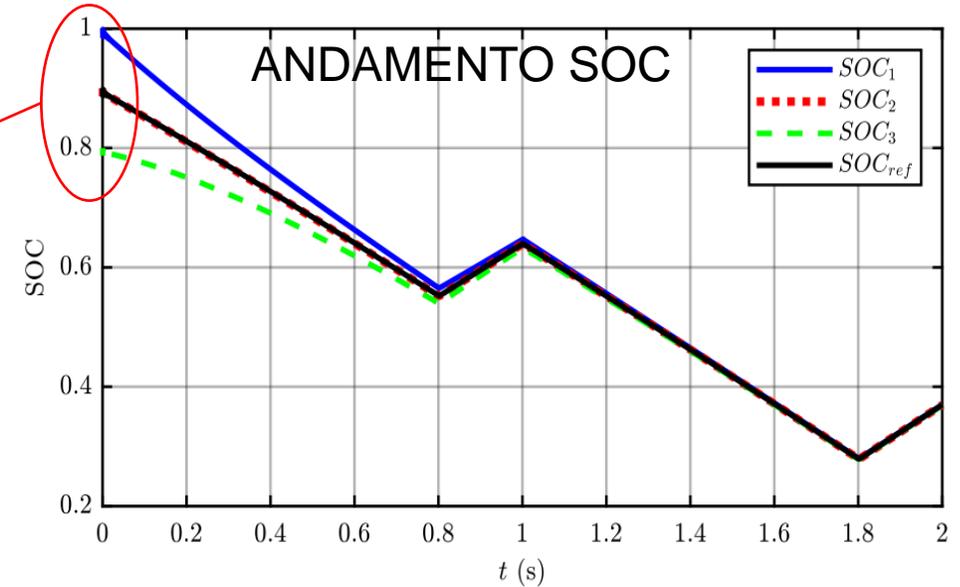
# Simulazione controllore SOC

## ANDAMENTO DI CORRENTE



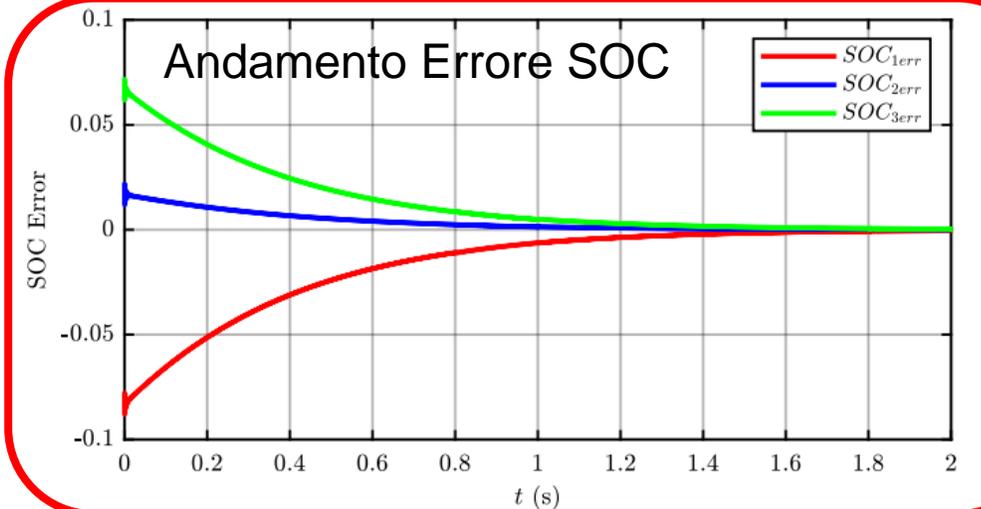
$SOC_1 = 100\%$   
 $SOC_2 = 90\%$   
 $SOC_3 = 80\%$

## ANDAMENTO SOC



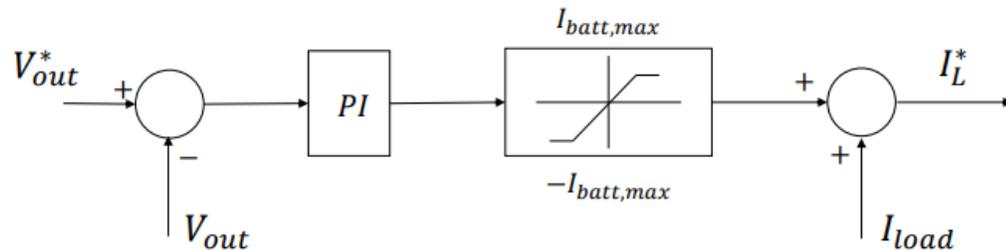
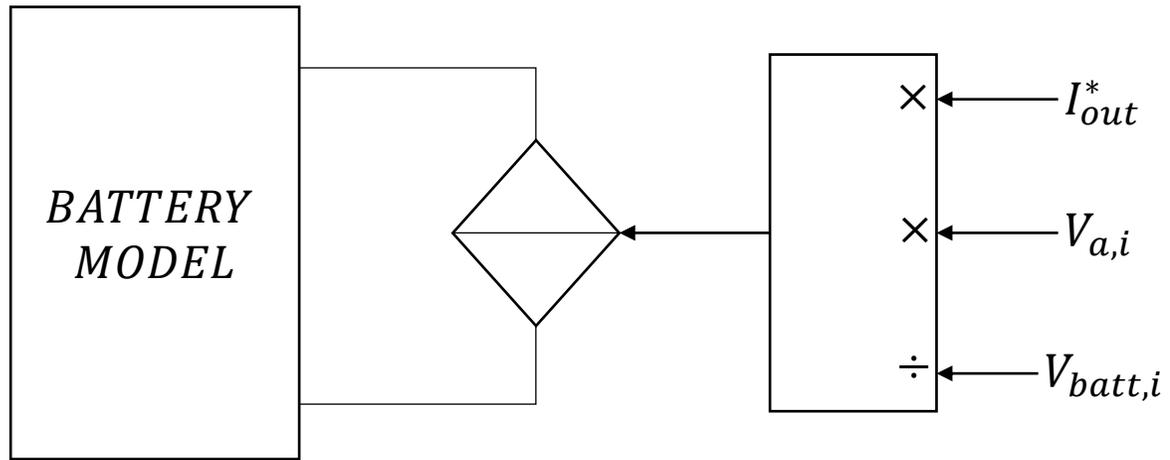
- Mantenimento del riferimento di corrente come nel caso precedente
- Equalizzazione più veloce dei SOC grazie al controllo in anello chiuso

## Andamento Errore SOC



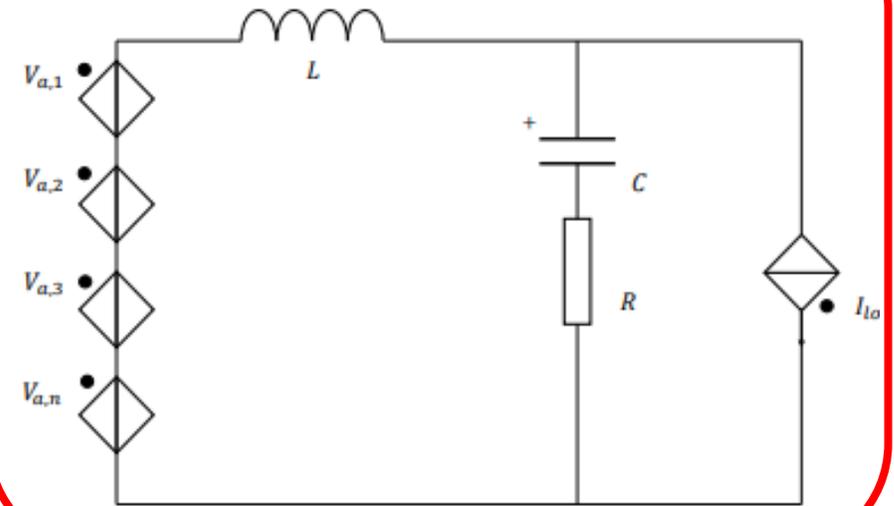
# Modello ai Valori Medi

## MODELLO LATO BATTERIA



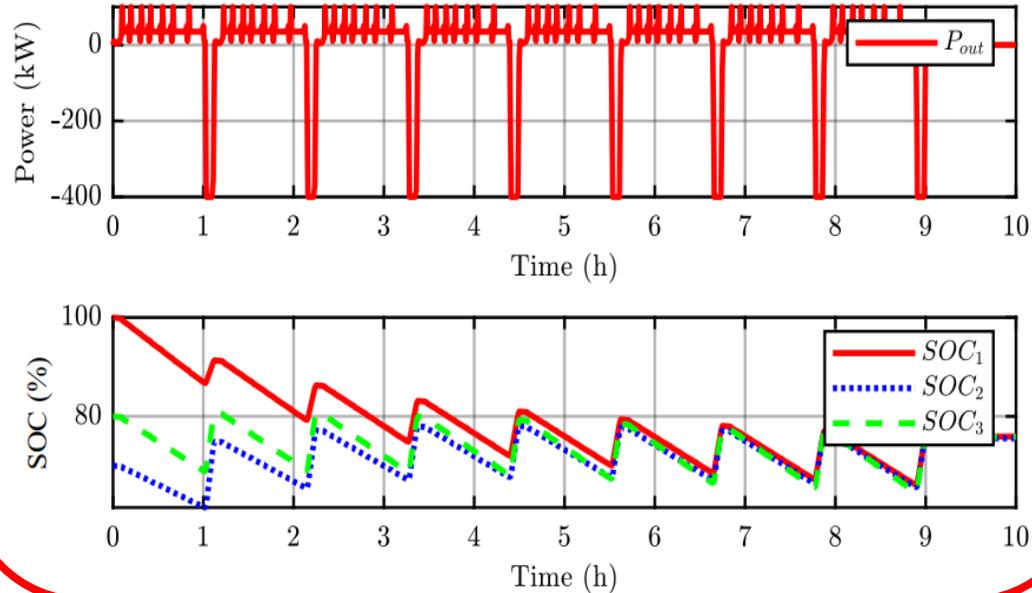
- Possibilità di simulare archi temporali elevati
- Velocità di simulazione più elevata
- Implementazione di carichi reali

## MODELLO LATO CARICO

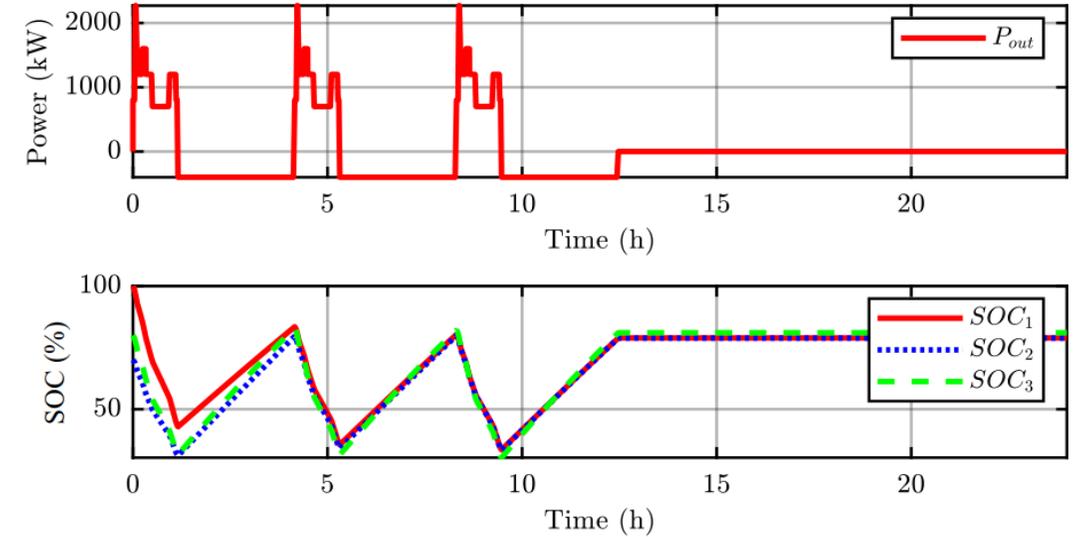


# SIMULAZIONE CARICHI REALI

## NAVE TRASPORTO PERSONE



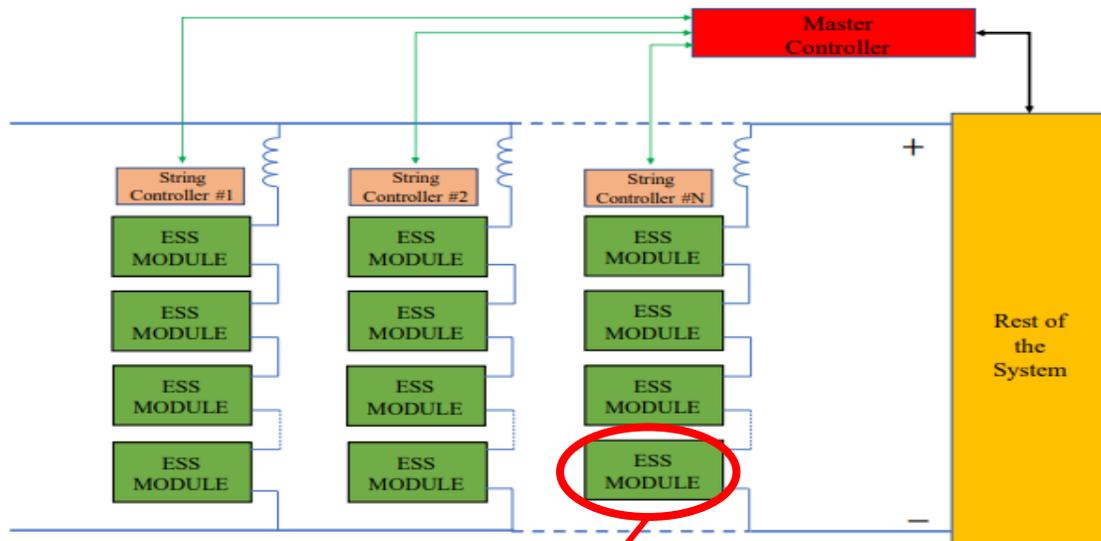
## NAVE TRASPORTO MERCI



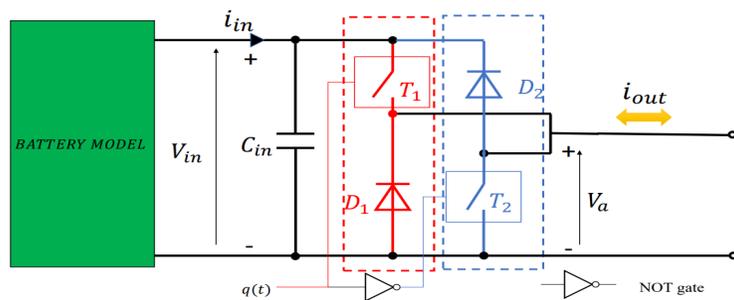
- Implementazione di due diagrammi di carico differenti
- SOC di partenza differenti
- Moduli differenti tra loro
- Il controllo equalizza correttamente in entrambi i casi i vari moduli

- Entrambi i controlli seguono correttamente i riferimenti di corrente
- Adeguato sfruttamento dei vari moduli
- Possibilità di migliorare l'implementazione dei pesi sfruttando modelli più accurati delle batterie e come temperatura, chimica della batteria, possibilità di attuare scariche profonde.
- Possibilità di ampliare il sistema aggiungendo stringhe in parallelo ed adeguando, di conseguenza, i vari algoritmi di controllo

# CONTRIBUTI PERSONALI



## MODULO ESS



- Studio della letteratura scientifica riguardante l'ambito navale
- Studio del controllo di un convertitore modulare
- Studio di applicazioni che utilizzano più convertitori modulari ed il loro controllo
- Implementazione degli algoritmi tramite controllo digitale
- Simulazioni di un sistema scalato per verificare il corretto funzionamento dell'algoritmo di controllo

Grazie per l'attenzione!