



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

PTR 2022-2024 - Progetto 2.3

Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche



Politecnico
di Torino



Convertitore Grid-Forming con Avanzata Sovraccaricabilità

*Relatori: Fabio Mandrile, Fausto Stella
Politecnico di Torino*

03/12/2024

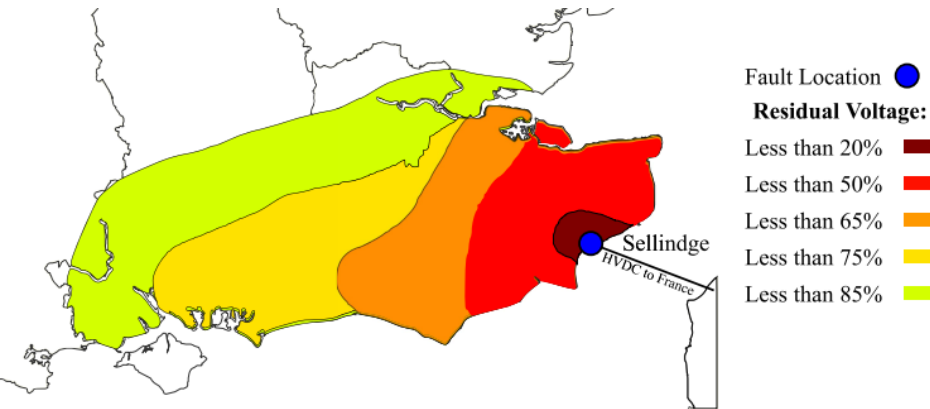


1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

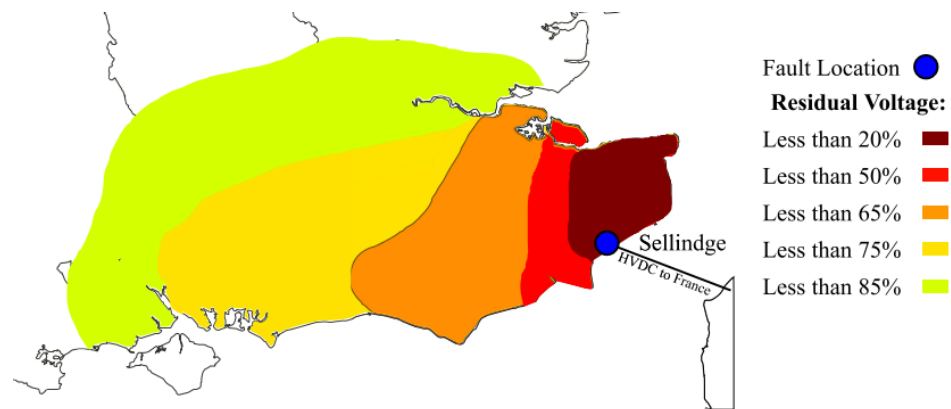


Introduzione

- Incremento generazione da fonti rinnovabili:
 - Riduzione generazione sincrona → Riduzione inerzia e supporto reattivo
 - Come erogare corrente di corto-circuito per innescare protezioni?



Guasto a Terra Trifase Bassa Penetrazione ER



Guasto a Terra Trifase Alta Penetrazione ER

Servizi di Supporto alla Rete

- Fonti rinnovabili interfacciate con **convertitori elettronici**:
 - **Non sono sovraccaricabili** (bassa **inerzia termica**)
 - Non è possibile sovraccaricare i convertitori a semiconduttore (**corrente nominale = corrente di sovraccarico**)
 - **Non supportano la rete** in caso di guasto (**algoritmo di controllo**)
 - **Tipicamente** operati in **logica MPPT** (massima generazione)
 - **Non contribuiscono** alla corrente di **corto-circuito** e quindi a innescare le protezioni di sovracorrente nelle linee

Soluzione Proposta

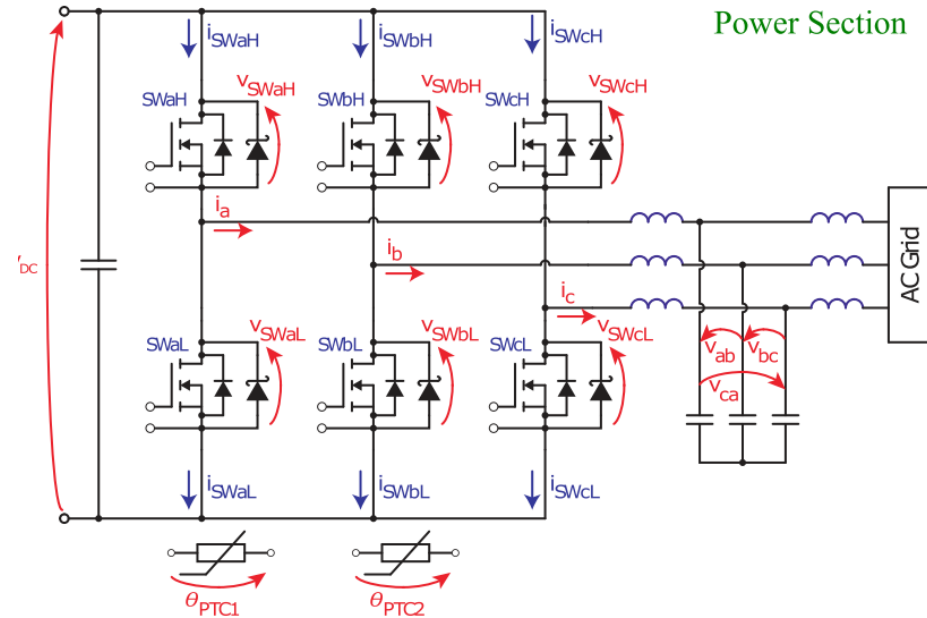
- Implementazione **controllo VSM** (Virtual Synchronous Machine)
 - **Emula** comportamento di un **generatore sincro** tradizionale
 - **Supporta** la **rete** in caso di guasto
- Implementazione **stima di temperatura** real-time dei **semiconduttori**
 - **Permette sovraccarico transitorio (centinaia ms)**
 - Permette di mantenere convertitore all'interno della SOA durante il sovraccarico

Stima Temperatura Real Time Semiconduttori SiC

Layout di Potenza

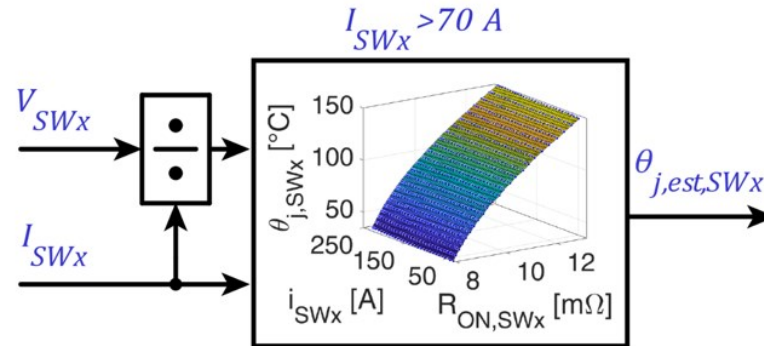
- Classico convertitore per applicazioni da rete (SiC):

- Misure standard per ogni convertitore da rete (VDC, correnti di fase, tensioni concatenate, temperatura dissipatore)
- Aggiunta misura di tensione di conduzione semiconduttori



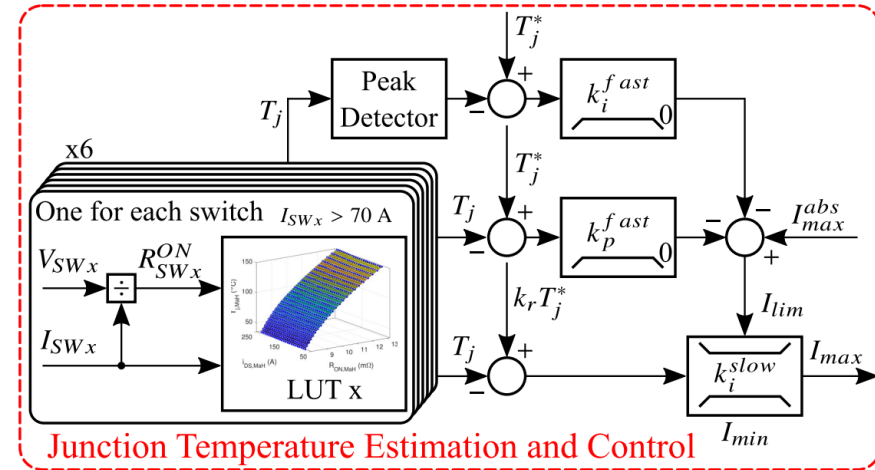
Stimatore di Temperatura

- Il convertitore proposto stima in real-time la temperature di giunzione dei semiconduttori:
 - Vengono misurate correnti e tensioni di conduzione dei componenti
 - Tramite una look up-table che è unica per ciascun componente viene stimata la temperatura di giunzione



Limitazione Termica

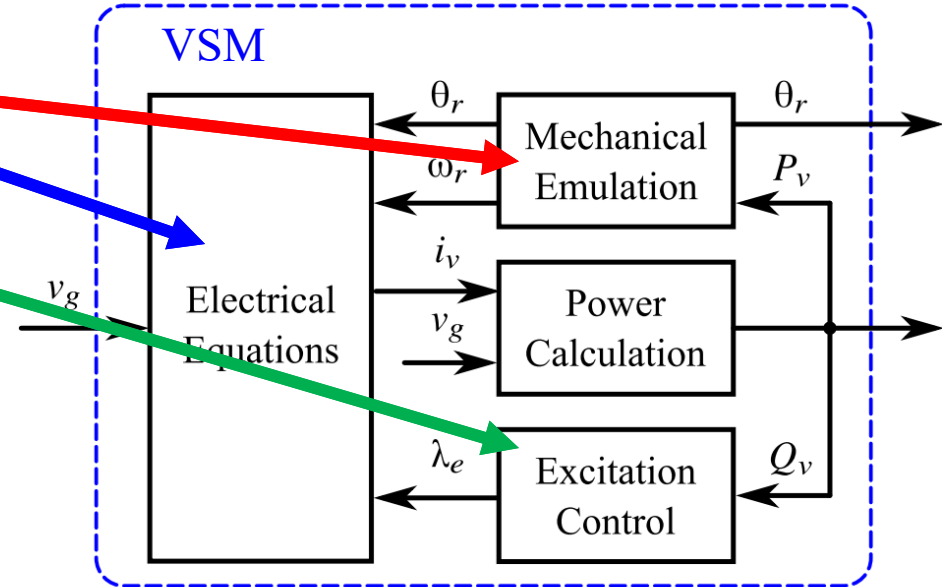
- La massima corrente erogata dal convertitore viene limitata per mantenere il convertitore all'interno della SOA:
 - Il massimo limite di corrente cambia nel tempo a seconda del punto di lavoro del convertitore
 - Limitatore termico mantiene le correnti erogate sinusoidali



Macchina Sincrona Virtuale (VSM)

VSM

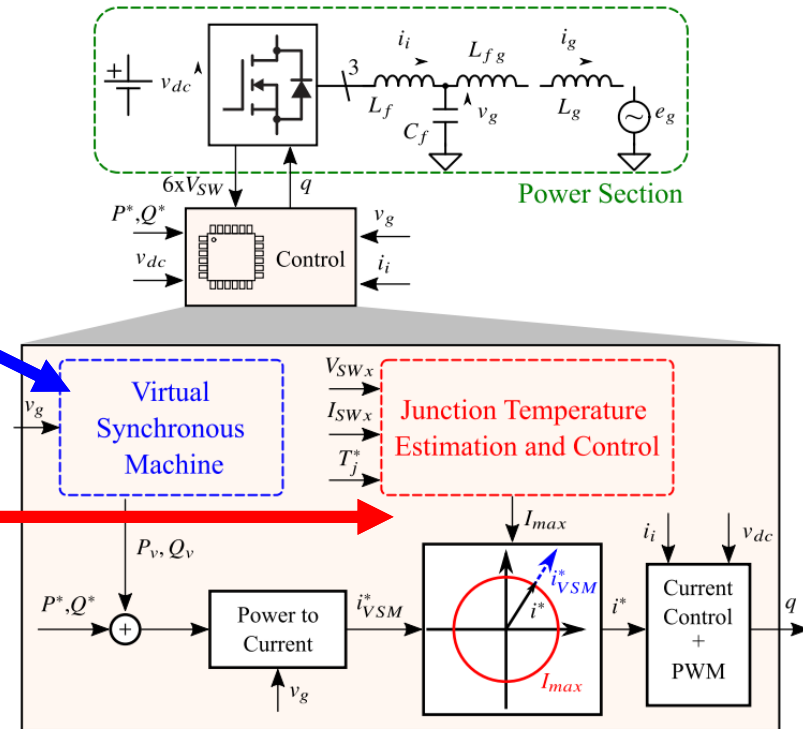
- Algoritmo di controllo che emula generatore sincrono
 - Servizi ausiliari erogati:
 - Inerzia virtuale
 - Compensazione armonica
 - Supporto reattivo



Schema di Controllo Aggregato

- Schema controllo VSM con limitatore attivo massima temperatura operativa di giunzione:

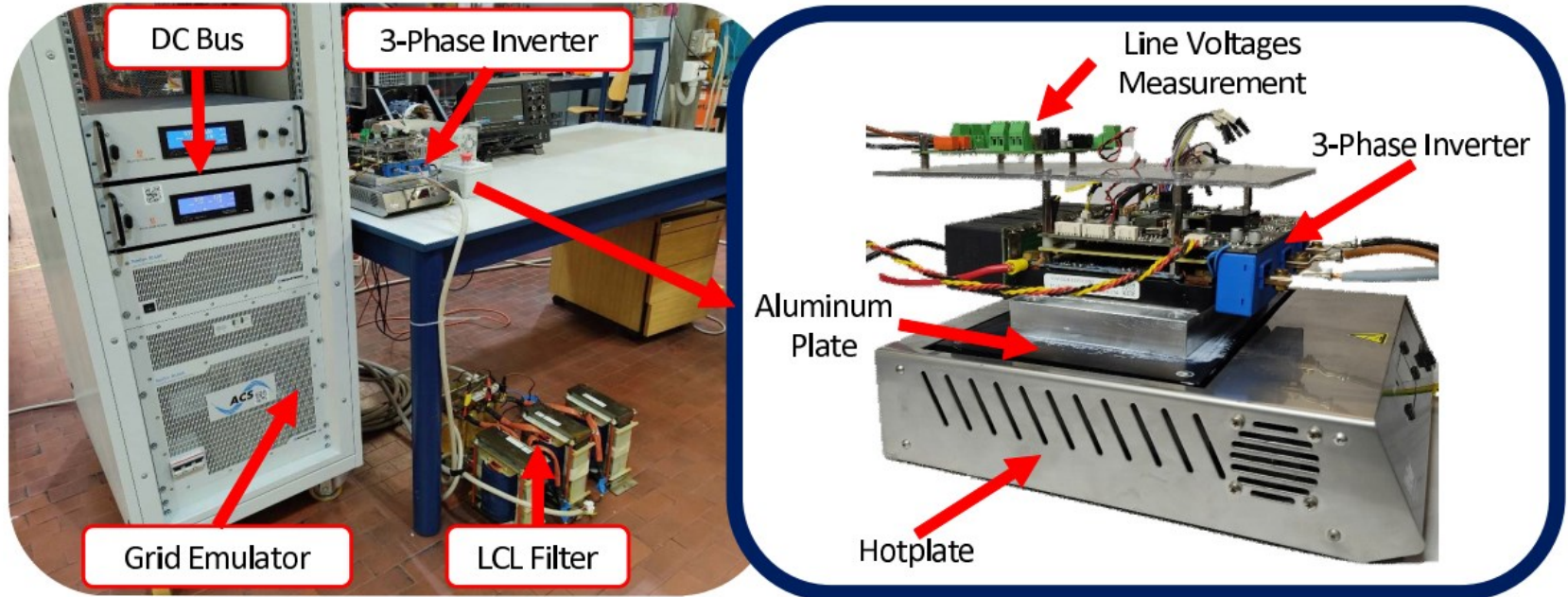
- VSM genera riferimenti potenza "desiderati"
- Stima temperatura limita all'interno delle possibilità fisiche del convertitore



Validazione Sperimentale

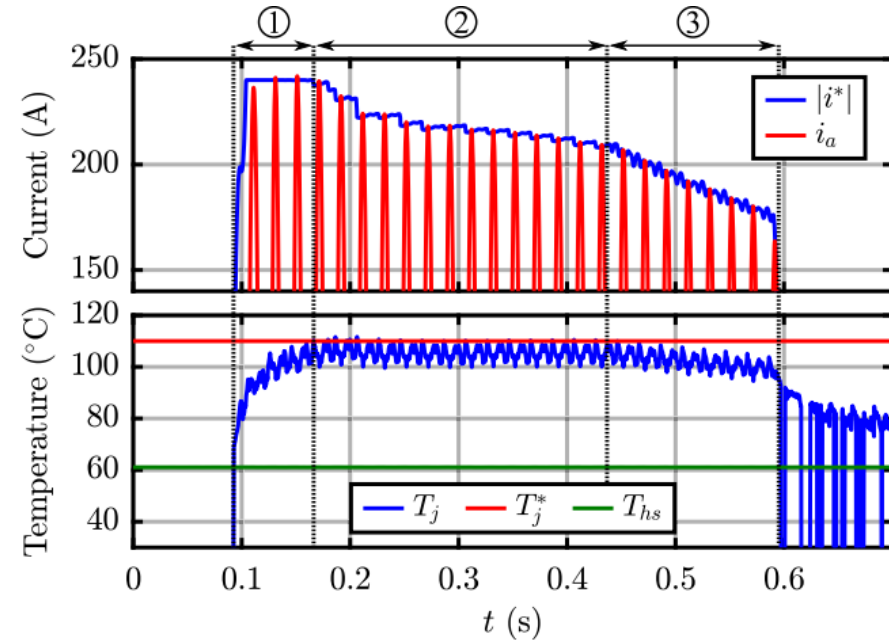
Banco Test Sperimentale

- Inverter sperimentale con stima di temperatura e controllo VSM connesso a emulatore di rete tramite filtro LCL



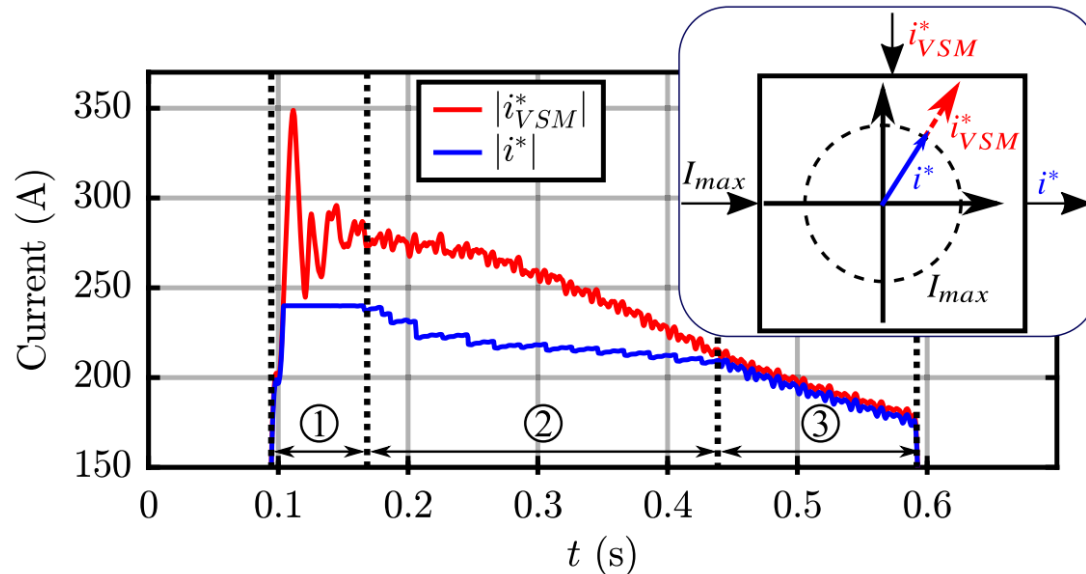
Buco di Tensione

- Test con buco di tensione:
 - Durata 500 ms
 - Calo tensione -16%
 - $T_{jmax} = 110^{\circ}\text{C}$
 - Corrente impulsive massima 240 A
- La risposta del controllo può essere divisa in tre intervalli distinti



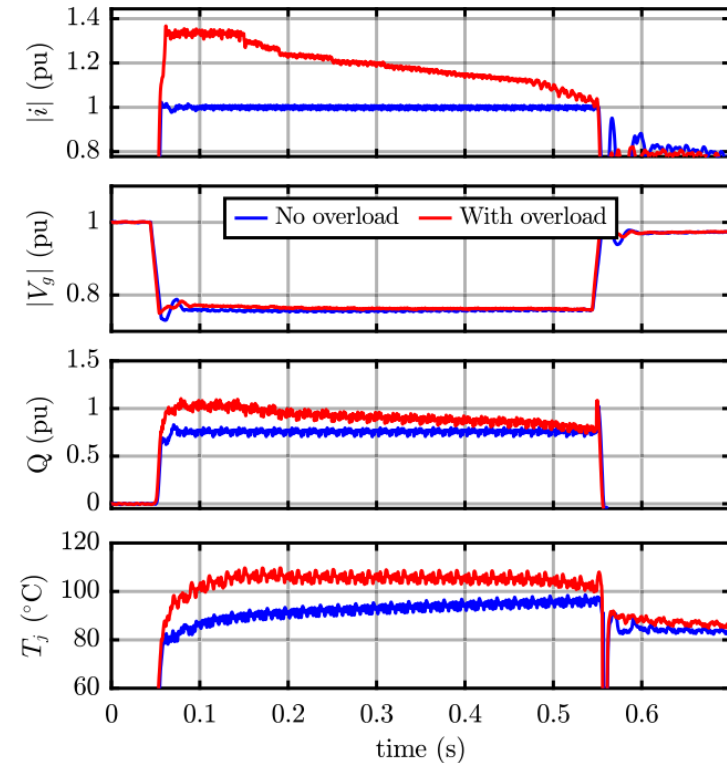
Iniezione di corrente

1. Iniezione massimo corrente impulsiva ammessa dal convertitore (240 A)
2. Limitazione attiva di corrente dopo raggiungimento limite termico (110 °C)
3. Corrente richiesta dal controllo VSM ritorna all'interno della SOA del convertitore



Comparazione con e senza sovraccarico

- Stesso buco di tensione due condizioni operative:
 - Convertitore operato fino al 100% della potenza nominale
 - Convertitore con sovraccarico al 133% della potenza nominale



Conclusioni

- L'utilizzo del **VSM** insieme alla **stima di temperatura** dei semiconduttori permette di:
 - **Sovraccaricare transitoriamente** il convertitore
 - **Supportare** efficacemente la **rete** in caso di guasto
 - **Evitare di sovradimensionare** convertitore

Grazie per l'attenzione!

1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

