

# Sistemi di recupero dell'energia di frenatura su linee ferroviarie a 3 kVcc: applicazioni e sviluppi futuri

*Convegno Aicq 2023: L'evoluzione dei sistemi di trazione ferroviaria per un trasporto più efficiente e sostenibile*

RFI - DIREZIONE TECNICA  
STANDARD TECNOLOGIE  
S.O. ENERGIA  
Ing. Spalvieri

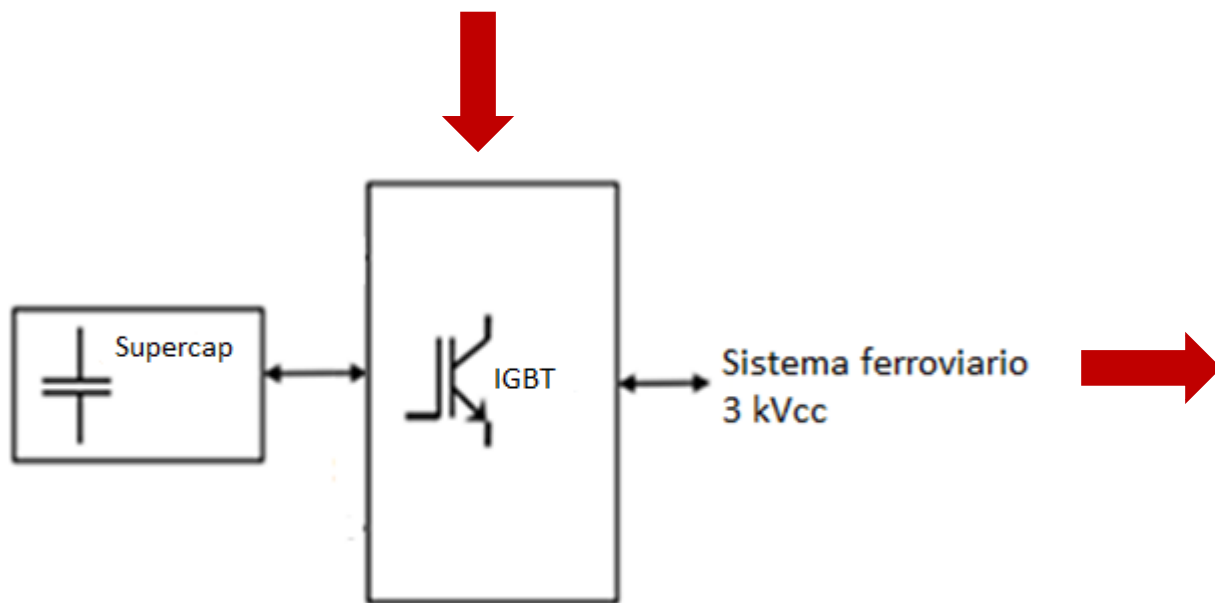


- ❖ Analisi e descrizione del sistema di recupero di energia analizzato ed implementato;
- ❖ Applicazione ed installazione presso la sottostazione elettrica di Forlì sulla linea Bologna-Rimini;
- ❖ Prove funzionali e analisi in corso;
- ❖ Risultati attesi;
- ❖ Sviluppi futuri e conclusioni.

# Sistema di recupero dell'energia di frenatura su linee ferroviarie a 3 kVcc

Il sistema di recupero innovativo dell'energia di frenatura dei treni su linee ferroviarie a 3 kVcc preso in esame è costituito dalle seguenti apparecchiature principali:

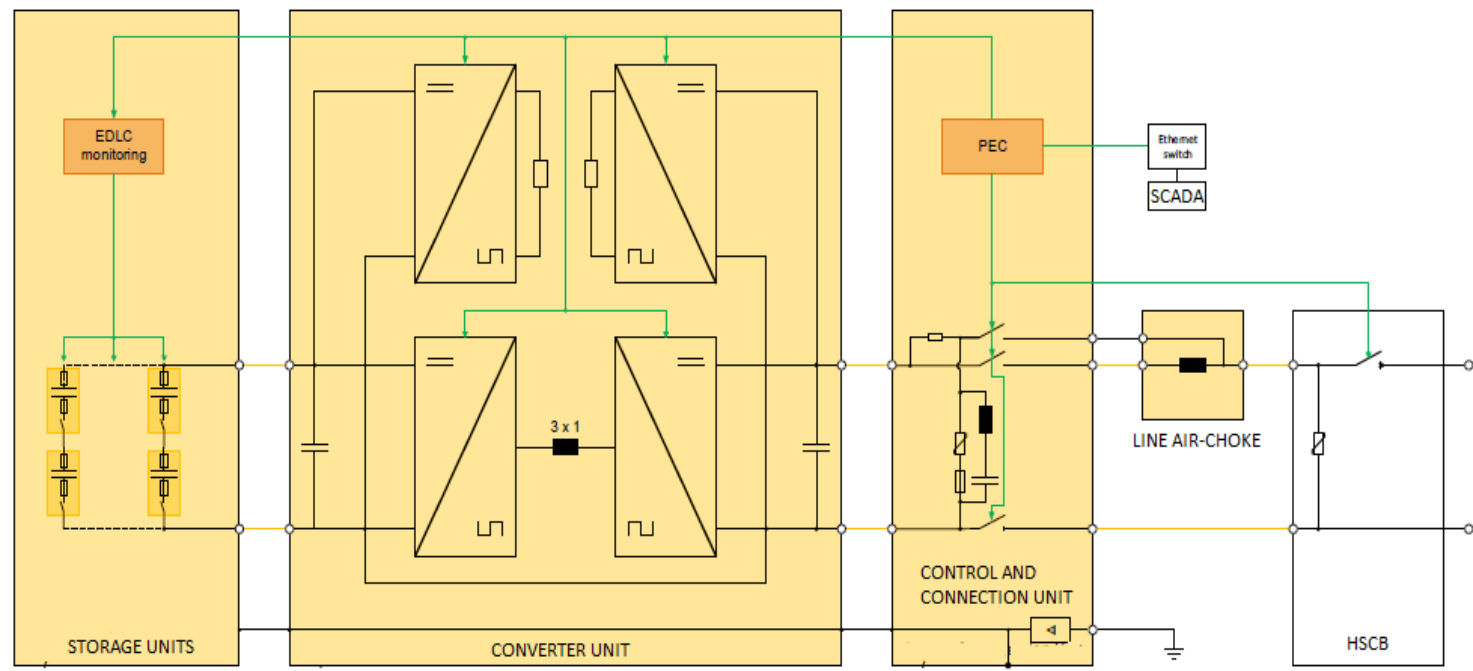
- ❖ Convertitore per la conversione dell'energia di frenatura dei treni e l'interfaccia con il sistema ferroviario a 3 kVcc;
- ❖ Sistema di accumulo dell'energia di frenatura dei treni.



L'obiettivo principale è quello di incrementare l'efficienza energetica del sistema a 3 kVcc, accumulando l'energia di frenatura dei treni in eccesso e restituendo tale energia quando richiesta dal traffico ferroviario.

# Sistema di recupero dell'energia di frenatura su linee ferroviarie a 3 kVcc

➤ Il sistema di accumulo di energia consiste in un convertitore bidirezionale DC/DC con tecnologia a IGBT connesso direttamente alla linea di contatto a 3 kVcc e al sistema di accumulo di energia basato sulla tecnologia a supercondensatori.



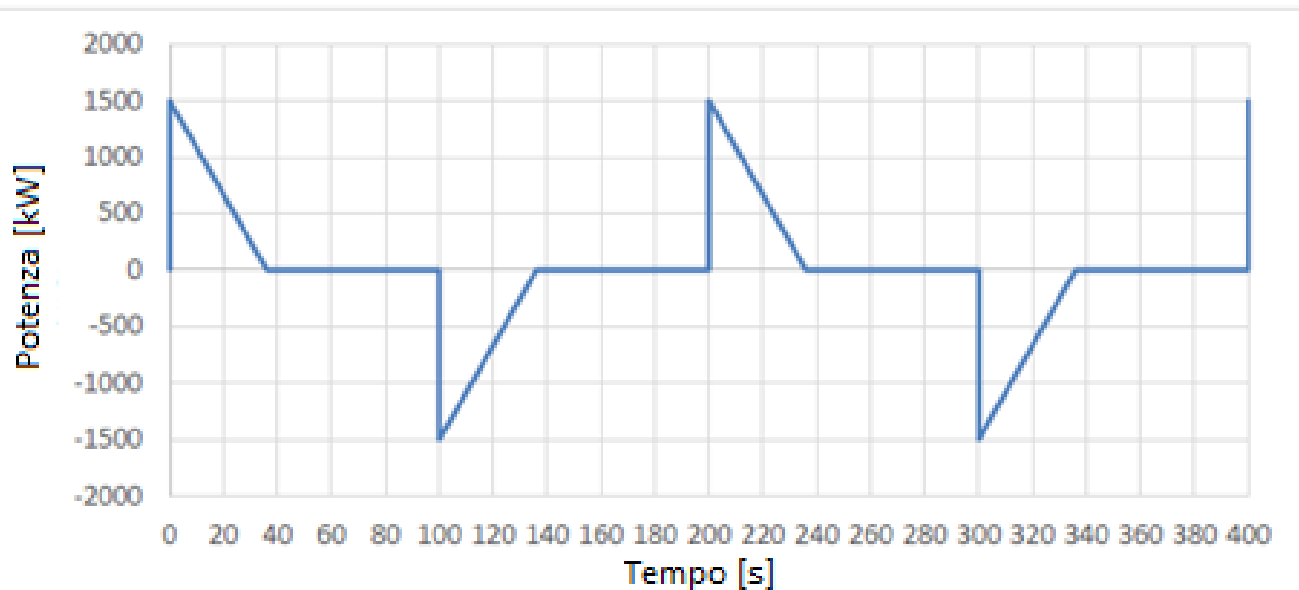
Parametri principali



Parametro	Valore
Tensione nominale in cc [V]	3600
Range di tensione di funzionamento in cc [V]	3200 - 3900
Potenza di picco [kW]	1500
Capacità di accumulo totale [kWh]	10.5
Tensione di funzionamento dello storage [V]	2000-3840

# Sistema di recupero dell'energia di frenatura su linee ferroviarie a 3 kVcc

Il sistema di accumulo dell'energia è costituito da banchi di supercondensatori e ha il seguente profilo di carica e scarica:



- I supercondensatori sono dimensionati per gestire i picchi di potenza associati alla frenatura dei treni e di accumulare la relativa energia;
- L'energia accumulata viene restituita al materiale rotabile durante le fasi di accelerazione.

## Scelta del sito sperimentale

Il sito scelto per l'installazione del sistema innovativo di accumulo di energia è la sottostazione elettrica esistente di Forlì sulla linea ferroviaria Bologna-Rimini a 3 kVcc.

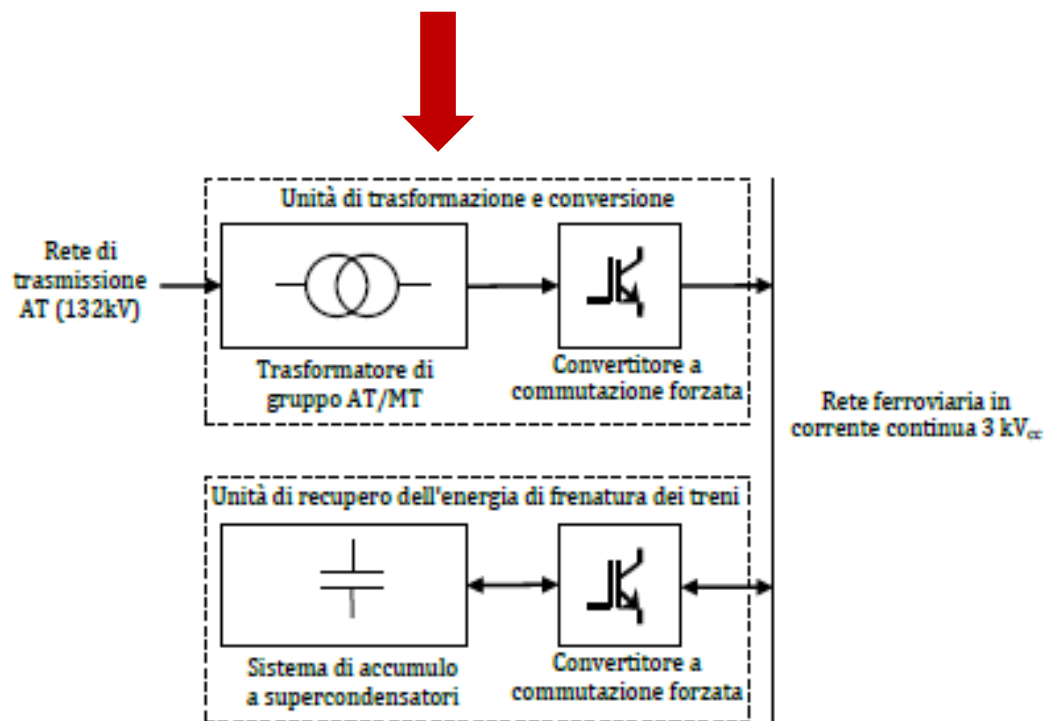


*La sottostazione elettrica di Forlì alimenta una linea a doppio binario dove il traffico ferroviario è prevalentemente costituito dalla seguente tipologia di treni:*

- *treni regionali con fermate nella vicina stazione di Forlì;*
- *treni a lunga percorrenza, con un assorbimento più elevato rispetto ai treni regionali.*

# Architettura degli impianti nel sito sperimentale

Il sistema realizzato presso la sottostazione elettrica di Forlì prevede, oltre all'installazione del sistema di accumulo dell'energia di frenatura dei treni, anche un gruppo di conversione per la trazione elettrica tale da permettere il controllo dinamico della tensione di alimentazione del sistema a 3 kVcc al variare del carico:



➤ *Il convertitore di trazione CA/CC a IGBT si comporta come un convertitore tradizionale e ha una potenza massima di 10 MW;*

➤ *Il gruppo di conversione innovativo è installato all'interno della sottostazione elettrica in parallelo al gruppo a diodi tradizionale esistente.*

➤ *Il trasformatore di gruppo AT/MT in olio per l'alimentazione del convertitore a IGBT prevede un avvolgimento primario e 4 avvolgimenti secondari.*

# Stato dell'arte

- ❖ La sottostazione elettrica innovativa di Forlì è stata attivata ad ottobre 2022 ed è attualmente in esercizio.
- ❖ Sono attualmente in fase di esecuzione le analisi delle misure delle principali grandezze elettriche con l'obiettivo di:
  - analizzare nel dettaglio gli impatti in termini di efficienza energetica sul sistema ferroviario;
  - ottimizzare l'integrazione con il sistema di alimentazione tradizionale a 3 kVcc tramite il setting dei parametri.





# Prove funzionali per l'attivazione impianto presso Forlì

A seguito dell'installazione delle apparecchiature innovative presso la sottostazione elettrica di Forlì, sono state eseguite con esito positivo le prove e le verifiche funzionali propedeutiche all'attivazione dell'impianto.



Le prove funzionali sono state suddivise nelle seguenti fasi:

- 1) Verifiche funzionali sulle singole apparecchiature innovative;
- 2) Prove con messa in tensione dell'impianto senza treno;
- 3) Prove di corto circuito;
- 4) Prove di alimentazione con treno.

# Prove funzionali per l'attivazione dell'impianto presso Forlì

## → Prove senza treno in linea:

- Energizzazione di una porzione di linea a vuoto;
- Connessione della nuova sottostazione elettrica ad una porzione di linea a vuoto già energizzata da una sottostazione elettrica adiacente;
- Prove reali di un corto circuito in linea.

## → Prove con treno in linea:

- Prove con treno e alimentazione della linea dalla sola sottostazione elettrica di Forlì (esclusione delle sottostazioni confinanti);
- Prove con treno e alimentazione della linea dalla sottostazione elettrica di Forlì in parallelo con le sottostazioni confinanti;
- Verifica delle funzionalità del sistema di recupero e restituzione dell'energia di frenatura dei treni in linea.



- ✓ Le prove hanno mostrato che il sistema innovativo è in grado di controllare in maniera dinamica la tensione di alimentazione dei treni mantenendola ad un valore costante impostato;
- ✓ Il sistema di recupero dell'energia recupera l'energia di frenatura del treno incrementando l'efficienza energetica del sistema.

# Misure elettriche e analisi di impatto in corso sul sistema tradizionale esistente

Le misure elettriche sono svolte con l'esercizio della sottostazione elettrica di Forlì in differenti condizioni di funzionamento:

- ❖ con diverse configurazioni delle apparecchiature;
- ❖ con diversi settaggi delle principali grandezze elettriche funzionali.



## Parametri elettrici funzionali principali da settare:

- ❖ Tensione controllata dal convertitore di trazione a IGBT sulla linea a 3 kVcc;
- ❖ Soglie di tensione di carica e scarica del sistema di recupero dell'energia.



## Esempio parametri settati:

- ❖ Tensione controllata = 3600 V;
- ❖ Tensione di carica ESS = 3700 V;
- ❖ Tensione di scarica ESS = 3500 V.

## Misure – Primi risultati

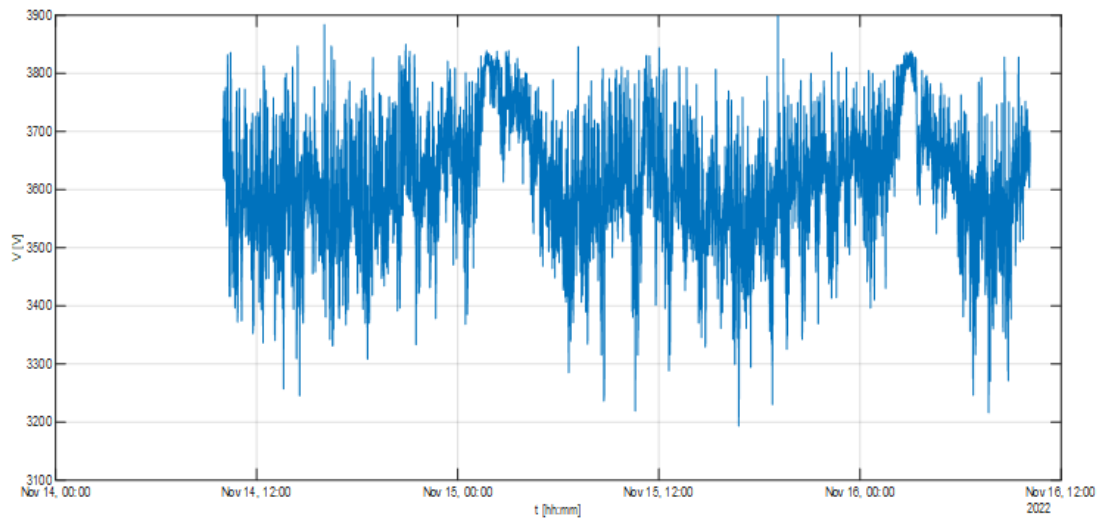
Dai primi risultati delle misure è emerso che il sistema di accumulo è in grado di alimentare la linea ferroviaria a 3 kVcc integrandosi con il sistema convenzionale, incrementandone l'efficienza energetica.



Analisi dell'impatto del sistema di accumulo di energia in altre configurazioni impiantistiche, tali da contribuire anche alla potenzialità elettrica del sistema (es. tra due sottostazioni elettriche limitrofe distanti).

# Misure – Primi risultati

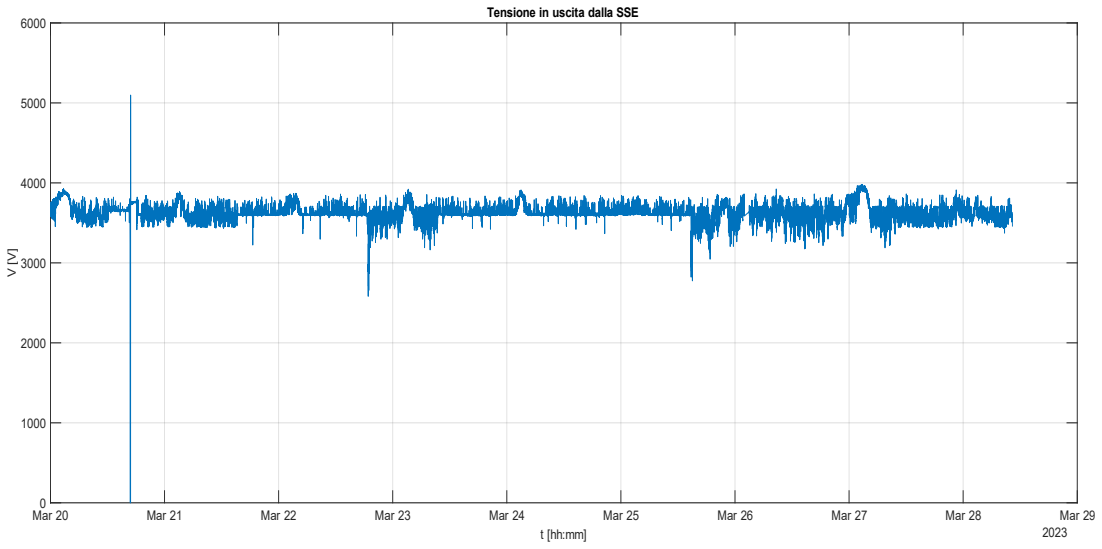
1. Tensione in uscita dalla sottostazione con gruppo a diodi tradizionale →



2. Tensione in uscita dalla sottostazione con gruppo a IGBT in funzione →



Il gruppo di conversione a IGBT è in grado di controllare in maniera dinamica la tensione di alimentazione dei treni mantenendola ad un valore minimo impostato (es. 3600 V)



## Risultati attesi

I principali risultati attesi sono i seguenti:

- ❖ Verificare l'impatto sulle prestazioni del sistema in termini di tensione di alimentazione in conformità ai requisiti tecnici definiti dagli standard europei di riferimento (STI ENERGIA, EN 50388, EN 50163);
- ❖ Verificare l'impatto sulle prestazioni del sistema in condizioni di corto circuito;
- ❖ Misurare l'incremento dell'efficienza energetica del sistema in differenti condizioni installative;
- ❖ Incrementare le conoscenze tecniche in modo da favorire lo sviluppo e la diffusione di soluzioni ed applicazioni standard sulle linee ferroviarie a 3 kVcc.

## Sviluppi futuri e conclusioni

- Tali sistemi innovativi possono essere installati nelle sottostazioni elettriche e sulle linee ferroviarie a 3 kVcc al fine di recuperare l'energia di frenatura dei treni;
- Le applicazioni e le analisi condotte possono contribuire alle attività di standardizzazione europea ed internazionale dei sistemi di recupero di energia nel settore ferroviario (CENELEC, UIC, IEC).



- ✓ Nel piano industriale di FSI è prevista la realizzazione di impianti di accumulo di energia di frenatura in base all'esperienza maturata a seguito della realizzazione dell'impianto pilota presso la sottostazione elettrica di Forlì;
- ✓ In alcuni progetti potranno essere previste sottostazioni elettriche con il controllo dinamico della tensione, al fine di distanziare maggiormente le sottostazioni elettriche (ad esempio evitare la realizzazione di impianti in galleria);
- ✓ Possibilità di integrare sistemi di accumulo dell'energia di frenatura dei treni con fonti di energia rinnovabile, quale ad esempio il fotovoltaico.

# Grazie per la vostra attenzione

Contatti:  
[c.spalvieri@rfi.it](mailto:c.spalvieri@rfi.it)

