



## Ricerca di Sistema elettrico

# Completa realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per EF1 e EF6

Pietro Zito, Alessandro Lampasi, Fabio Starace

COMPLETA REALIZZAZIONE DEI QUADRI ELETTRICI DEI RADDRIZZATORI A TIRISTORI DEI CONVERTITORI PER EF1 E EF6.

Pietro Zito, Alessandro Lampasi, Fabio Starace (ENEA)

Settembre 2017

#### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto: B.3.2 – Attività di Fisica della Fusione Complementari a ITER

Obiettivo: Macchina JT-60SA – subtask A3. Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA

Responsabile del Progetto: A. Pizzuto, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 REALIZZAZIONE DEI CONVERTITORI EF1 E EF6.....	5
2.2 COLLAUDO DEI EF1 E EF6 .....	17
3 CONCLUSIONI.....	21

## Sommario

L'obiettivo A3 prevede la fornitura di otto alimentatori AC/DC non convenzionali e sei trasformatori MT/BT, destinati ad erogare le elevate correnti richieste da alcuni avvolgimenti superconduttori di JT-60SA. La fornitura include anche tutti i relativi interruttori, fusibili, protezioni, controllori, sistemi di raffreddamento, collegamenti di media e bassa tensione e quanto altro necessari al loro funzionamento.

L'ENEA, dopo aver selezionato ed invitato diversi fornitori industriali europei, ha assegnato la fornitura di tutti i sistemi di alimentazione elettrica al Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI) tra le ditte POSEICO e JEMA. Entrambe le ditte possono vantare una esperienza pluriennale nel campo dell'elettronica di potenza con competenze specifiche complementari nella componentistica e negli impianti per fusione nucleare.

La fase di ingegnerizzazione ha individuato i criteri di dimensionamento dei sistemi e di scelta dei componenti industriali. Le soluzioni proposte rispondono a quanto chiesto dalle specifiche tecniche ed in linea con le prestazioni attese dalla macchina JT-60SA. Successivamente nel 2014 è stato approvato definitivamente da ENEA, F4E e JAEA il design dei trasformatori, mentre nel 2015 sono stati approvati definitivamente il design dei convertitori.

Completata la fase di design definitivo di tutti gli alimentatori, sono stati completati i trasformatori per CS2 e CS3 e l'esecuzione delle prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici. Inoltre, sono stati realizzati i convertitori CS1, CS2, CS3 e CS4 e completata la "Realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per EF1 e EF6 secondo quanto previsto negli allegati tecnici", oggetto di questo rapporto, e prevista dalla fase 4D del contratto.

## 1 Introduzione

L'obiettivo A3 prevede la fornitura di otto alimentatori AC/DC non convenzionali e sei trasformatori MT/BT, destinati ad erogare le elevate correnti richieste da alcuni avvolgimenti superconduttori di JT-60SA. La fornitura include anche tutti i relativi interruttori, fusibili, protezioni, controllori, sistemi di raffreddamento, collegamenti di media e bassa tensione e quanto altro necessari al loro funzionamento.

Dopo aver condotto accurati studi di fattibilità, l'ENEA, sulla scorta della propria pluriennale esperienza nelle alimentazioni elettriche per la fusione nucleare, in costante contatto con altri enti per la fusione nucleare europei ed internazionali, ha eseguito la progettazione dei sistemi di alimentazione necessari ed ha elaborato le specifiche tecniche e di gestione della qualità finalizzate all'emissione di un bando di gara per l'assegnazione del contratto per la fornitura degli otto sistemi di alimentazione elettrica.

L'ENEA, dopo aver selezionato ed invitato diversi fornitori industriali europei, ha assegnato la fornitura di tutti i sistemi di alimentazione elettrica al Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI) tra le ditte POSEICO e JEMA. Entrambe le ditte possono vantare una esperienza pluriennale nel campo dell'elettronica di potenza con competenze specifiche complementari nella componentistica e negli impianti per fusione nucleare.

Nel corso del Kick-Off Meeting, tenuto in data 1 agosto 2013 con la partecipazione dei rappresentanti delle agenzie F4E e JAEA, sono state analizzate le specifiche tecniche e di gestione della qualità presentando la suddivisione delle attività contrattuali tra le due ditte POSEICO e JEMA.

La fase di ingegnerizzazione ha individuato i criteri di dimensionamento dei sistemi e di scelta dei componenti industriali. Le soluzioni proposte rispondono a quanto richiesto dalle specifiche tecniche ed in linea con le prestazioni attese dalla macchina JT-60SA. Successivamente nel 2014 è stato approvato definitivamente da ENEA, F4E e JAEA il design dei trasformatori, mentre nel 2015 sono stati approvati definitivamente il design dei convertitori.

Il piano di realizzazione ha visto il completamento dei trasformatori FPPC e il loro collaudo a settembre 2014, la realizzazione dei convertitori FPPC upper e lower si è completata a novembre 2014.

A febbraio 2015 i convertitori FPPC upper and lower sono stati collaudati con successo presso la sala prove della JEMA (Spagna). Infine sono state eseguite con successo in maggio 2015 le prove sismiche del Crowbar (essendo un componente di sicurezza rilevante in Cl. B) secondo la norma IEC 60068-3-3 60068-2-47.

Completata la fase di design definitivo di tutti gli alimentatori, sono state completate le fasi 3B "Realizzazione di un prototipo del sistema di crowbar di un convertitore CS con relative prove" e 3C "Realizzazione dei trasformatori per CS2 e CS3 ed esecuzione delle prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici". Sono stati inoltre completati i convertitori CS1, CS2, CS3 e CS4. Infine, è stata completata la "Realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per EF1 e EF6 secondo quanto previsto negli allegati tecnici", oggetto di questo rapporto, e prevista dalla fase 4D del contratto.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Realizzazione dei convertitori EF1 e EF6

Le Figure 1 e 2 mostrano il layout del sito di installazione così come previsto dalla documentazione di progetto per i convertitori EF1 e EF6. Lo schema elettrico è riportato in figura 3; mentre le successive figure 4 e 5 mostrano il power assembly delle bobine Equilibrium Field (EF). Inoltre il power assembly degli EF e relativo crowbar sono riportati nelle figure da 6 a 9. Tali dispositivi prodotti dalla POSEICO presso lo

stabilimento di Busalla (Genova), sono stati trasportati presso la ditta JEMA (San Sebastian, Spain) per la realizzazione finale dei convertitori EF.

Infatti le figure 10, 11, 12 e 13 riportano gli armadi del sistema EF1 e il sistema di raffreddamento del convertitore EF1, mentre le restanti figure 14, 15 e 16 riportano i moduli di potenza. La figura 10 mostra il convertitore EF6 montato e posizionato in sala prove; mentre la figura 14 mostra il sistema EF1 collegato al carico ed alimentato per l'esecuzione delle prove.

La fase di realizzazione del EF1/EF6 è stata completata in Ottobre 2016.



Figura 1 - Plant layout EF1 e EF6



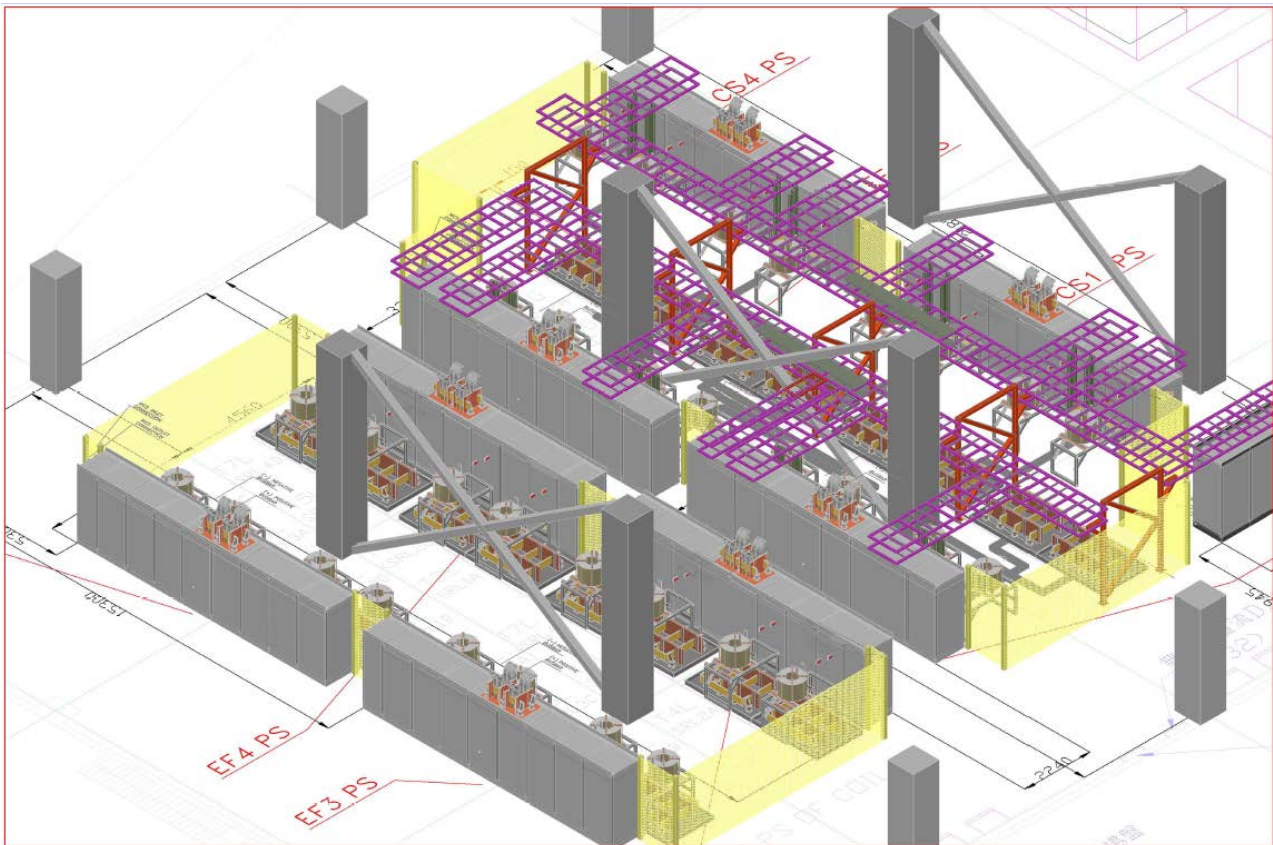


Figura 2 - Plant layout EF1 e EF6, vista tridimensionale

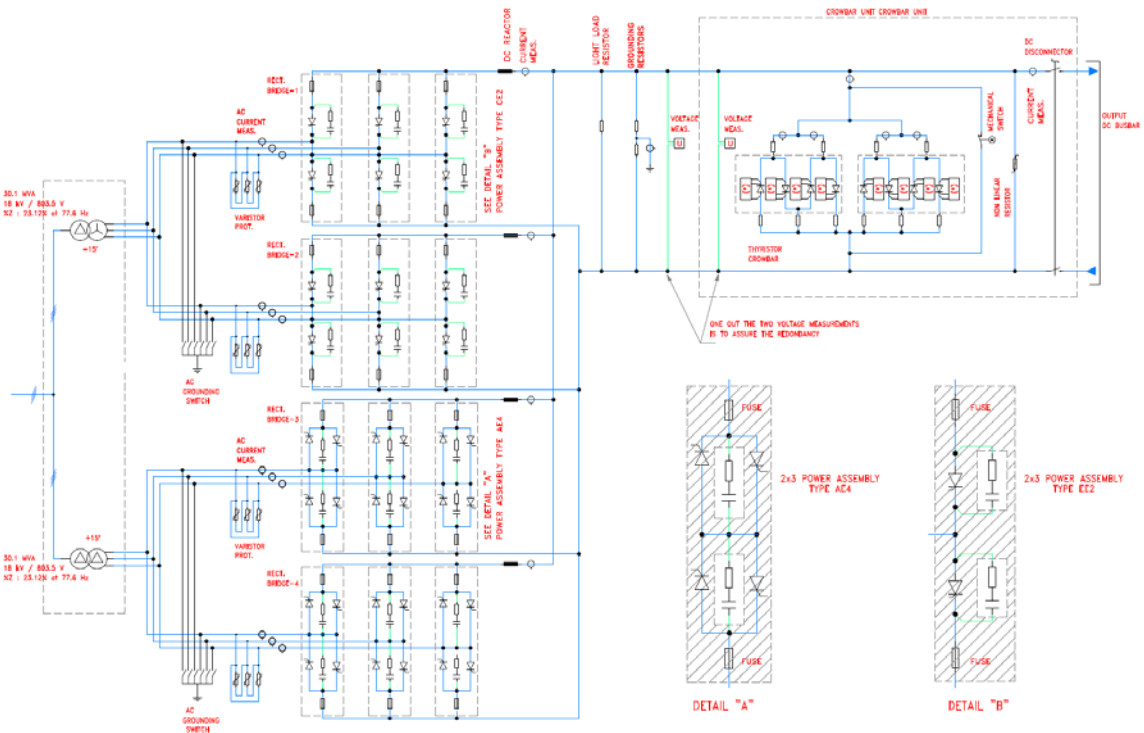


Figura 3 - Single line drawing of EF1/EF6

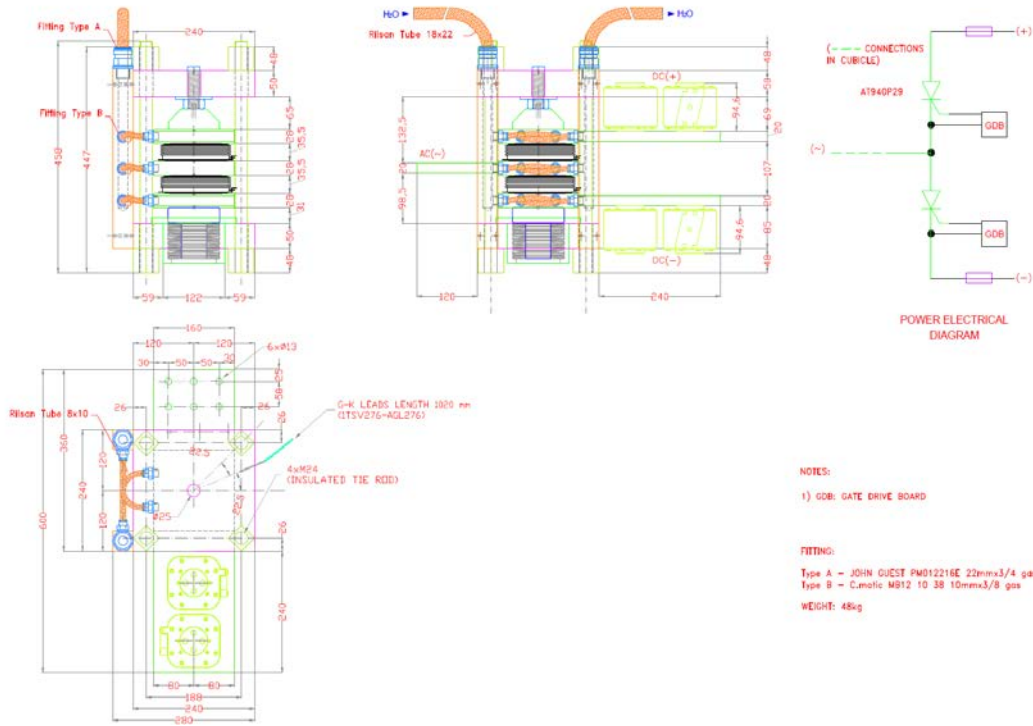


Figura 4 – Power Stack EF1/EF6

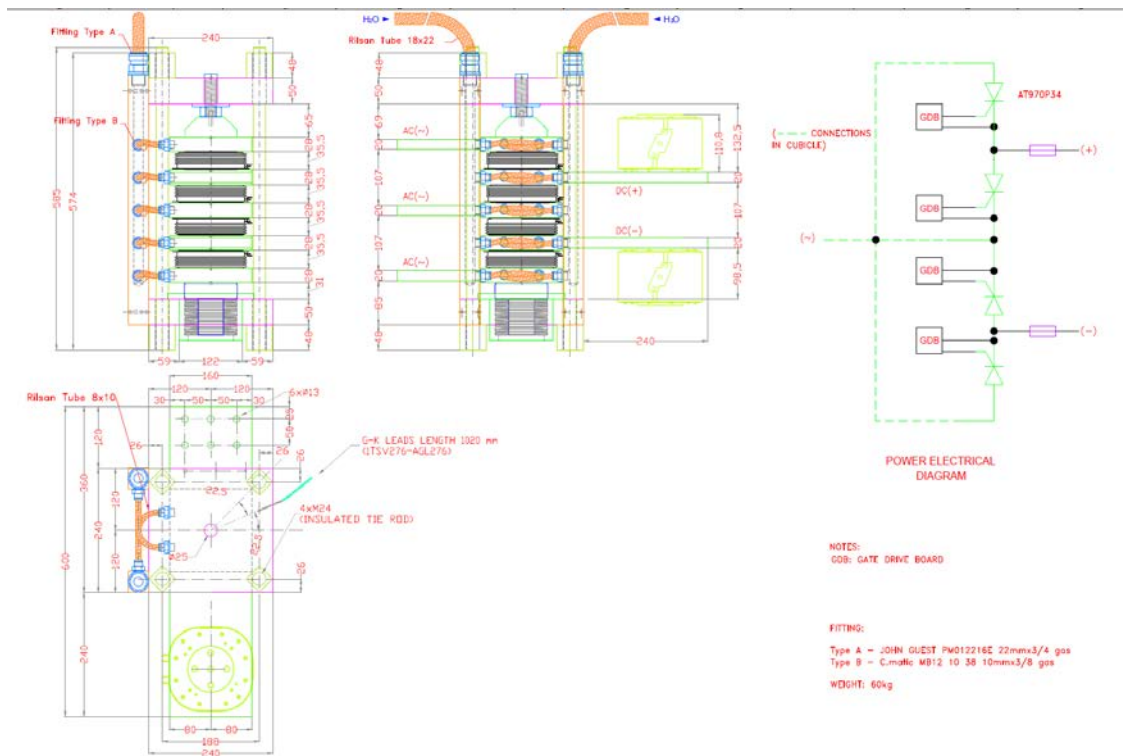


Figura 5 – Power Stack EF1/EF6



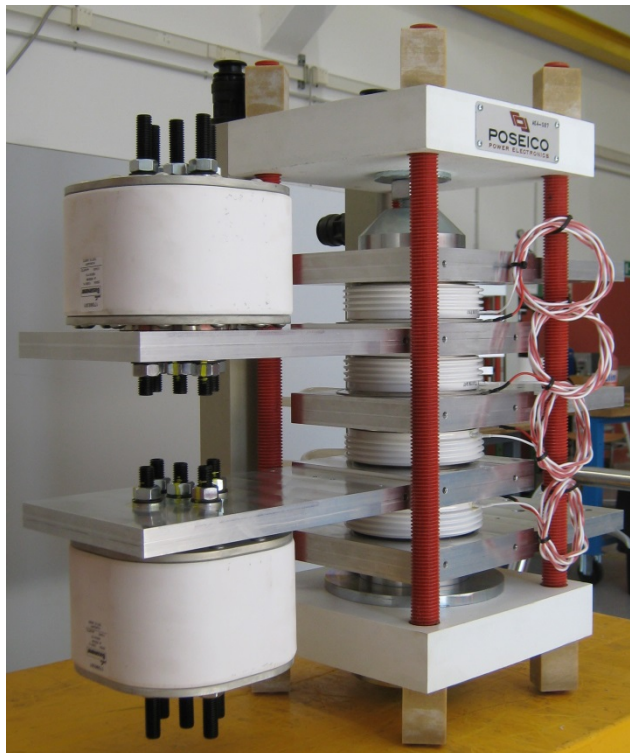


Figura 6 – Dettaglio del EF1/EF6 power assembly.

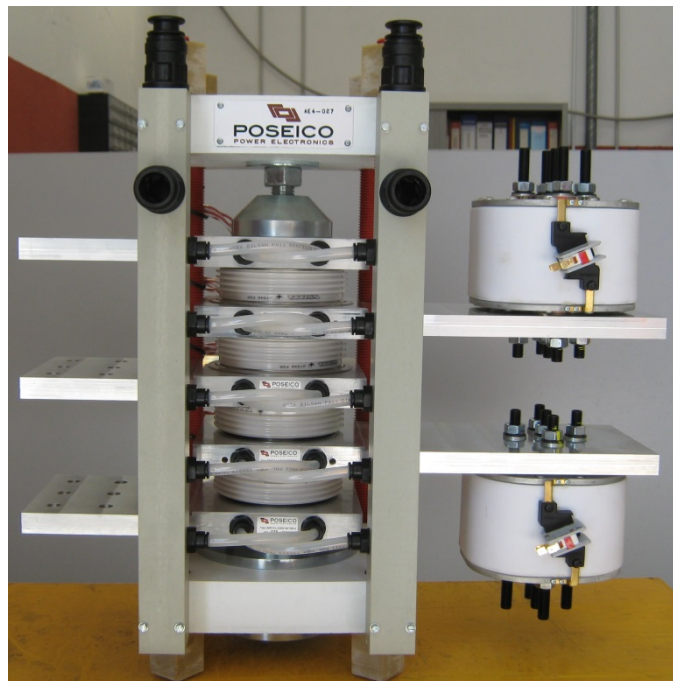


Figura 7 – Vista posteriore del EF1/EF6 power assembly.



Figura 8 – Crowbar power assembly EF1/EF6

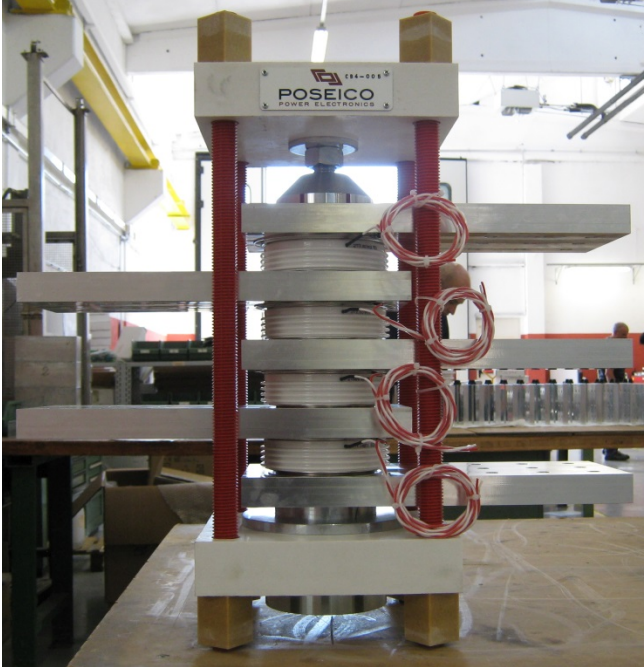


Figura 9 – Crowbar power assembly EF1/EF6



Figura 10 – EF6 posizionato nella sala prove.



Figura 11 – Armadio con tiristori EF1.





Figura 12 – dettaglio del Sistema di raffreddamento.



**Figura 13 – Armadio 4 con tiristori EF1**





Figura 14 – EF1 nella sala prove.



Figura 15 – dettaglio EF1



Figura 16 – dettaglio EF1 sezionatore DC e crowbar





Figura 17 – Dettaglio EF1.

## 2.2 Collaudo dei EF1 e EF6

I convertitori EF1 e EF6 una volta posizionati nell'area di collaudo, seguendo lo schema elettrico di misura illustrato nella figura 18 si evidenzia:

- la rete principale 30kV in arrivo a JEMA;
- l'autotrasformatore offre la possibilità di aumentare o diminuire la tensione proveniente dalla rete principale che alimenta i quattro trasformatori;
- due trasformatori alimentano i quattro raddrizzatori (due raddrizzatori in parallelo con ciascun secondario del trasformatore);
- l'uscita EF1PS CC è collegata al carico principale che consiste di tre induttanze collegate in serie, per un totale di: 3,3 mH e 3 mΩ.

- EF6PS è alimentato dagli stessi trasformatori con un cavo di sezione inferiore per testare a tensione ridotta rispetto al livello attuale. Tuttavia, EF1 e EF6 non possono essere collegati contemporaneamente ai trasformatori di potenza.

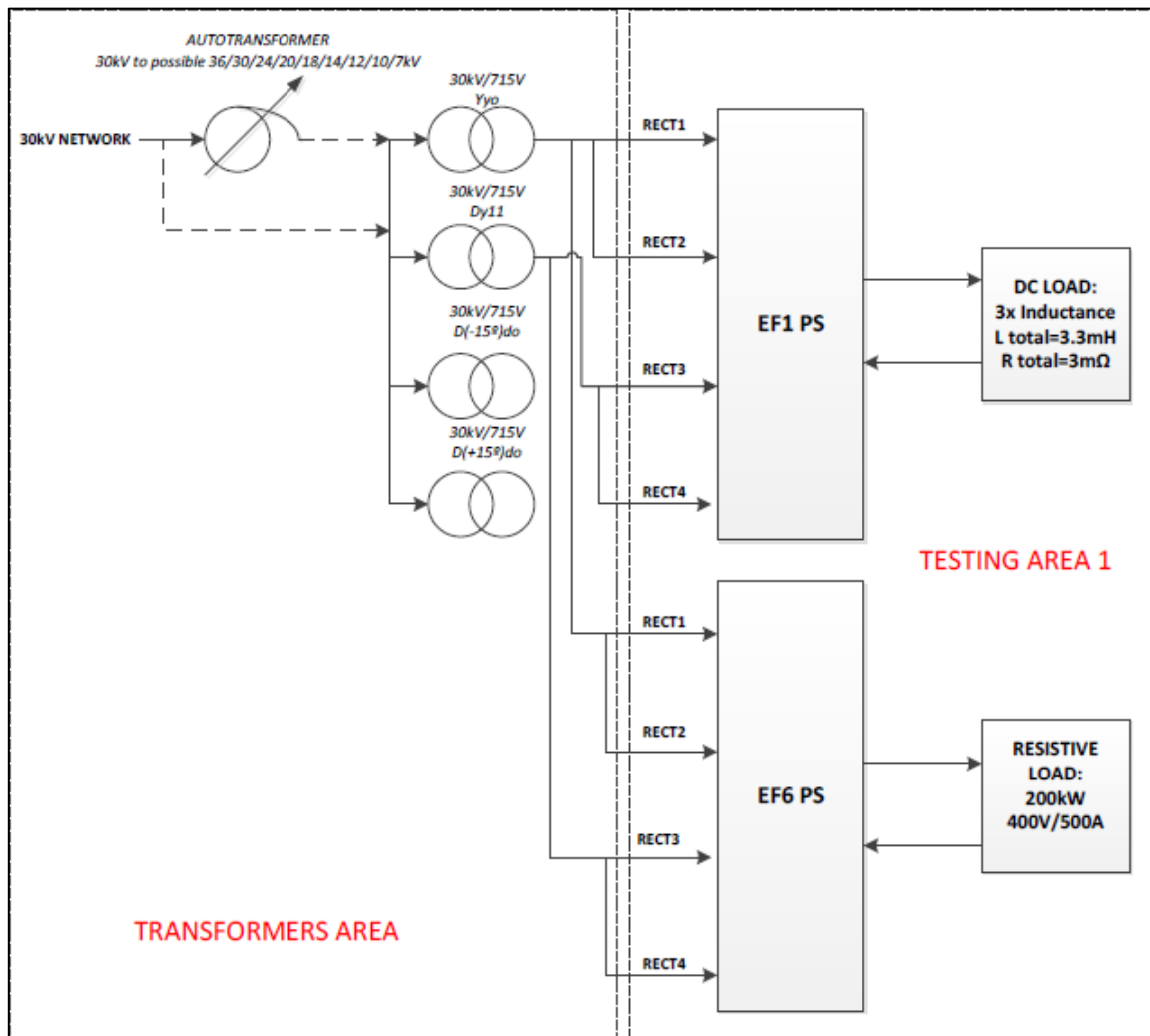


Figura 18 – Schema elettrico di misura.

I convertitori EF1 e EF6 sono stati sottoposti alle seguenti prove di collaudo:

- prove di isolamento;
- gestione degli eventi, allarmi e guasti;
- prova in pressione del sistema di raffreddamento;
- test dei reattori in DC;
- prova dell'interfaccia uomo-macchina;
- prove di controllo in corrente;
- prove di controllo in tensione;
- prova sul crowbar;
- prove di tipo a corrente nominale (solo su EF1).

Tutte le prove eseguite hanno dato esito positivo al controllo

Le figure 19 e 20 mostrano i risultati delle prove con controllo in corrente. La figura 21 mostra i risultati della prova di tipo a corrente nominale di 20kA. Infine, alle prove di collaudo hanno partecipato sia il personale della ditta sia personale ENEA e F4E come dalla foto di figura 22.



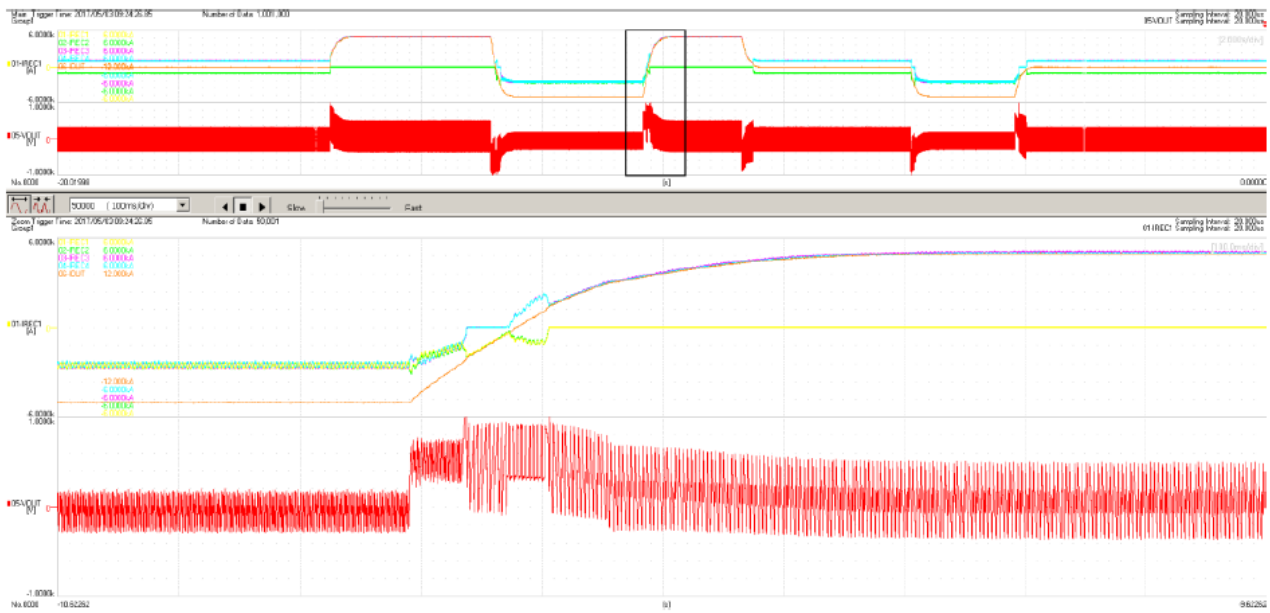


Figura 19 – Transizioni del EF1 con controllo in corrente.

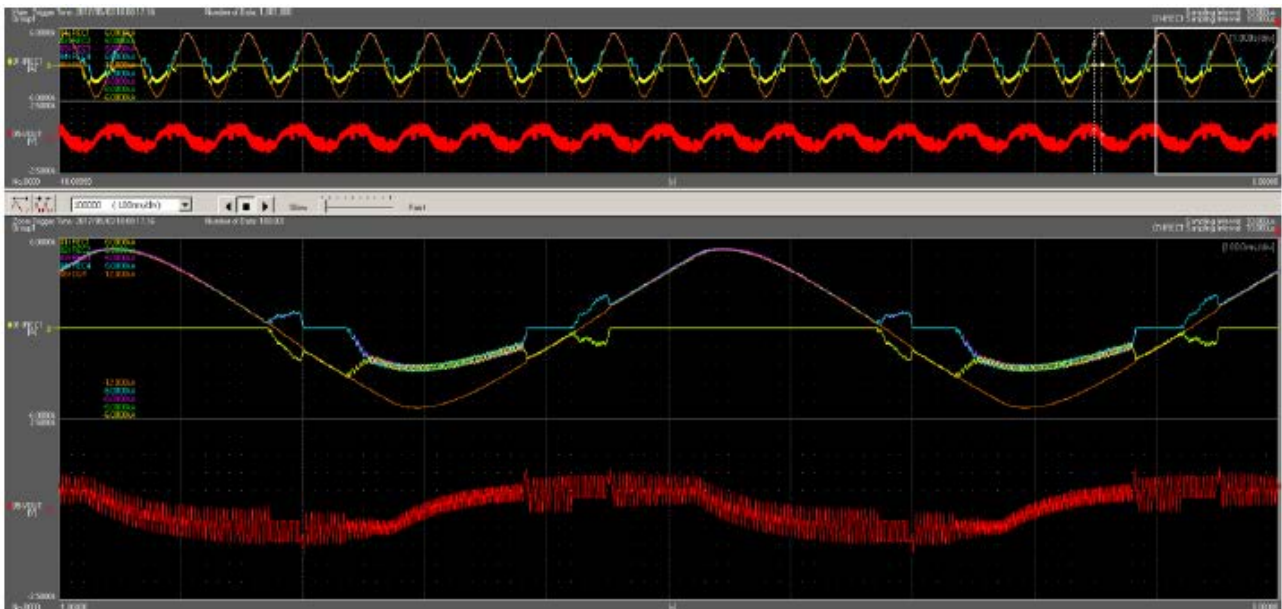


Figura 20 – dettaglio delle transizioni del EF1 con controllo in corrente.

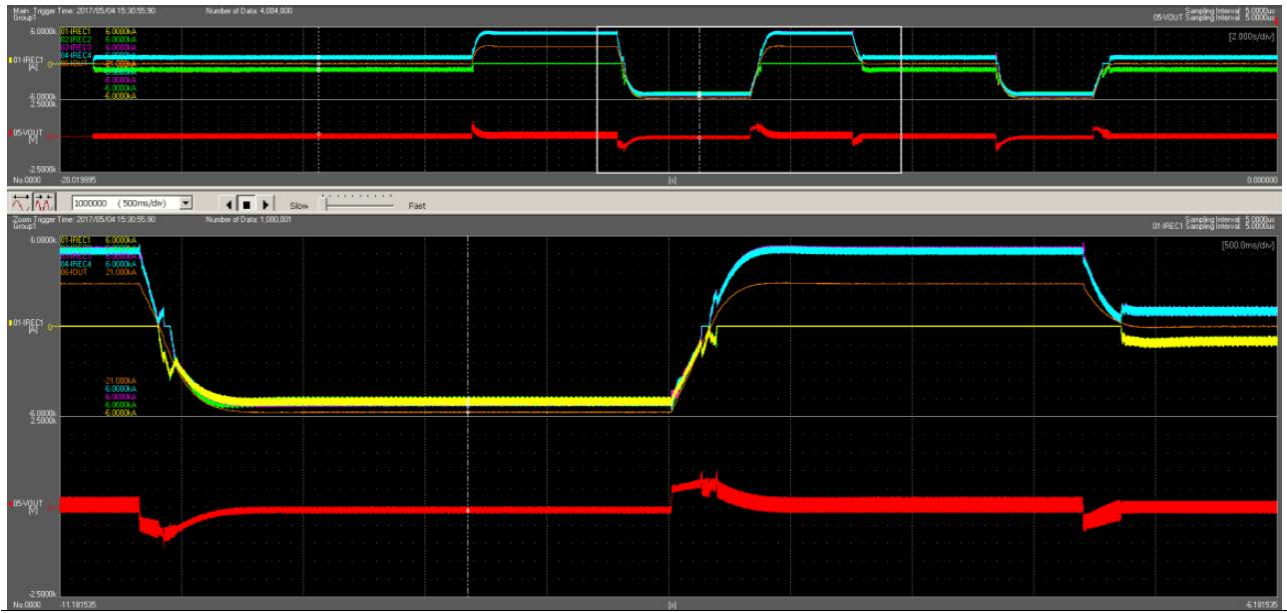


Figura 21 – Prova di tipo a corrente nominale del EF1.



**Figura 22 – Testimoni durante le prove di collaudo del EF1 e EF6.**

### 3 Conclusioni

È stata correttamente eseguita con esito positivo la fase contrattuale 4D che prevede: la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per EF1 e EF6 secondo quanto previsto negli allegati tecnici. Tutte le prove eseguite hanno dato esito positivo al controllo.