



## Ricerca di Sistema elettrico

Avanzamenti nella fornitura ENEA di otto alimentatori AC/DC per i magneti superconduttori poloidali di JT60-SA: Realizzazione dei quattro convertitori CS e collaudo dei convertitori CS1 e CS4.

P. Zito, A. Lampasi, A. Cucchiario

Avanzamenti nella fornitura ENEA di otto alimentatori AC/DC per i magneti superconduttori poloidali di JT60-SA: Realizzazione dei quattro convertitori CS e collaudo dei convertitori CS1 e CS4.

P. Zito, A. Lampasi, A. Cucchiaro

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO

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

Obiettivo: *A4 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 CS1, CS2, CS3 E CS4 .....	5
2.2 COLLAUDO DEI CS1 E CS4 .....	22
3 CONCLUSIONI.....	25

## Sommario

L'obiettivo A4 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 convertitori CS1, CS2, CS3 e CS4 come richiesto dalla sottofase 4B "la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3 secondo quanto previsto negli allegati tecnici". Infine sono stati collaudati i convertitori CS1 e CS4 (assemblati in precedenza) come richiesto dalla sottofase 4A "Realizzazione dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle relative prove di accettazione secondo quanto previsto negli allegati tecnici".

## 1 Introduzione

L'obiettivo A4 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, sono state presentate le due Imprese POSEICO e JEMA con i loro organigrammi e con i rispettivi responsabili del contratto, sia tecnico sia di controllo di qualità, e con la suddivisione delle attività contrattuali tra le due ditte.

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 delle 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 furono collaudati con successo presso la sala prove della JEMA (Spagna). Per questi test due trasformatori già collaudati sono stati trasferiti in Spagna per le prove di collaudo. Infine le prove sismiche del Crowbar (essendo un componente di sicurezza rilevante in Cl. B) sono state eseguite maggio 2015 in base alla norma IEC 60068-3-3 60068-2-47 presso il laboratorio esterno Virlab in Spagna.

Completata la fase di design definitivo di tutti gli alimentatori, sono stati completati convertitori CS1, CS2 CS3 e CS4 come richiesto dalla sottofase 4B "la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3 secondo quanto previsto negli allegati tecnici". Infine sono stati collaudati i convertitori CS1 e CS4 (assemblati in precedenza) come richiesto dalla sottofase 4A "Realizzazione dei dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle relative prove di accettazione secondo quanto previsto negli allegati tecnici".

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Realizzazione CS1, CS2, CS3 e CS4

La Figura 1 mostra il layout del sito di installazione così come previsto dalla documentazione di progetto, mentre figura 2 lo stesso per i convertitori CS2 e CS3. Gli schemi elettrici sono riportati in figura 3 e 4 rispettivamente; mentre le successive figure da 5 a 8 mostrano il power assembly dei CS. Inoltre il power assembly del relativo crowbar è riportato nelle figure 9 e 10. Questi equipaggiamenti prodotti dalla

POSEICO presso lo stabilimento di Busalla (Genova), sono stati trasportati presso lo stabilimento della JEMA in (San Sebastian, Spain) per la realizzazione finale dei convertitori CS.

Infatti le figure 11, 12 e 13 riportano il modulo di potenza 1, 2 e il sistema di raffreddamento del convertitore CS1, mentre le restanti figure 14, 15 e 16 riportano il modulo di potenza 1, 2 e il sistema di raffreddamento del convertitore CS4. La figura 17 mostra il convertitore CS3 montato e posizionato in sala prove; mentre Le figure 18, 19 e 29 mostrano il contenuto degli armadi con i relativi apparati di potenza e il sezionatore in DC. La figura 21 mostra il CS2 collegato al carico ed alimentato per l'esecuzione delle prove; mentre le figure 22 e 23 mostrano il dettaglio del CS2.

La fase di realizzazione del CS1/CS4 è stata completata entro settembre 2015 mentre i CS2/3 sono stati completati entro settembre 2016.



Figura 1 – Plant layout CS1 e CS4

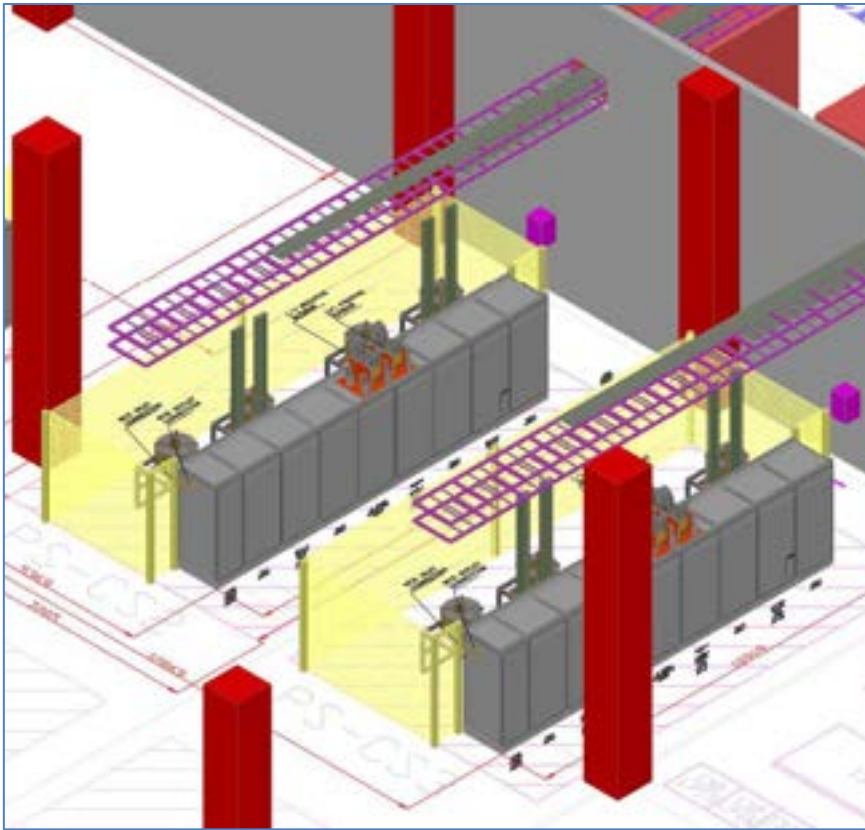


Figura 2 - Plant layout CS2 e CS3

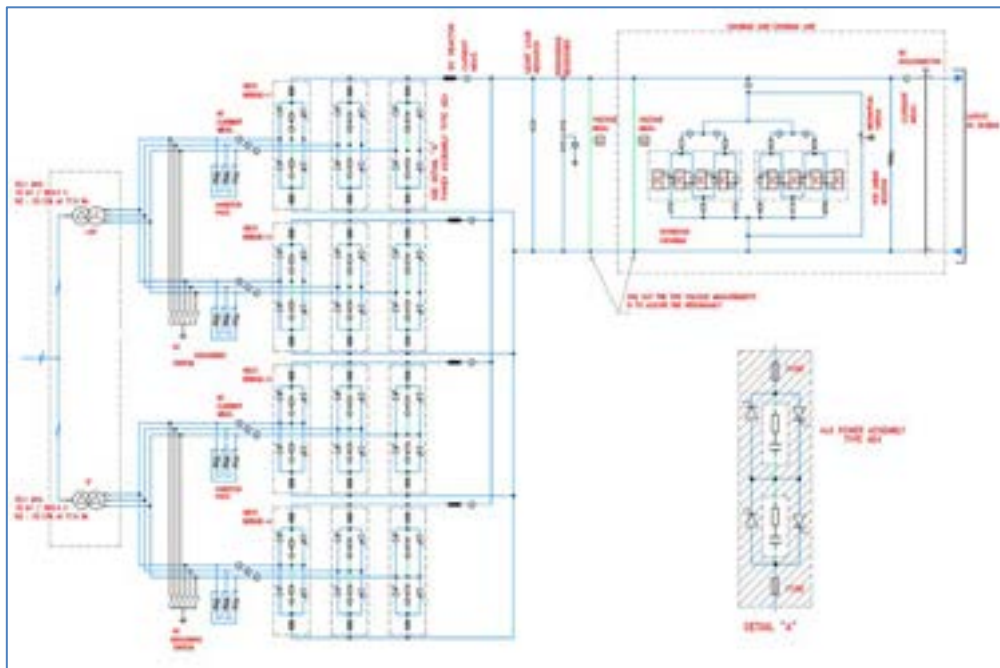


Figura 3 – Single line drawing of CS1/CS4

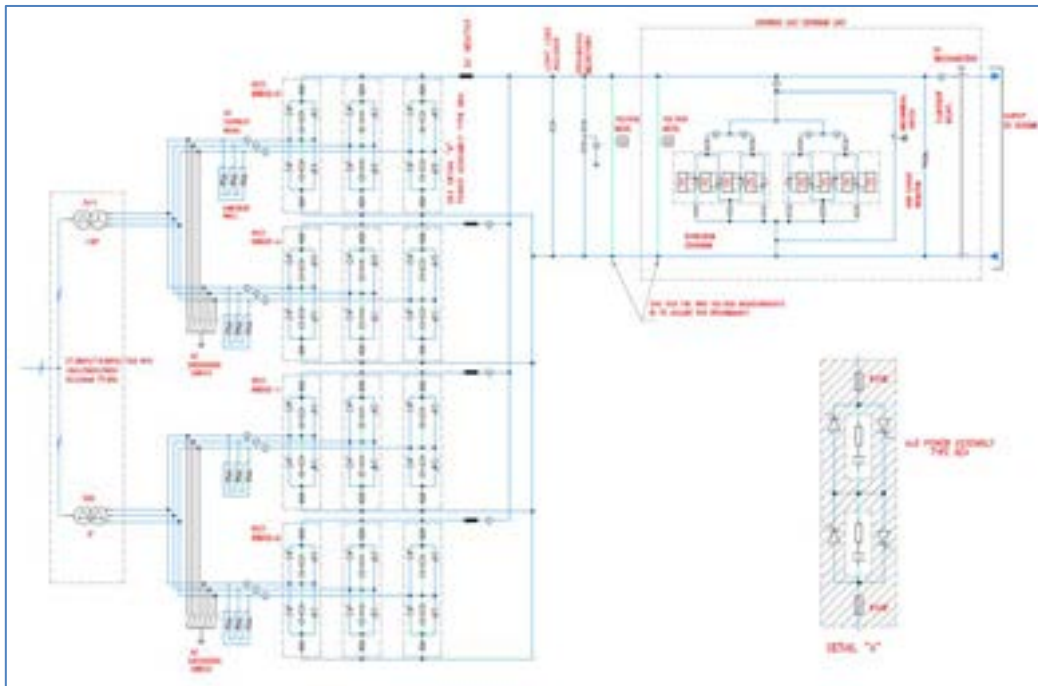


Figura 4 - Single line drawing of CS2/CS3

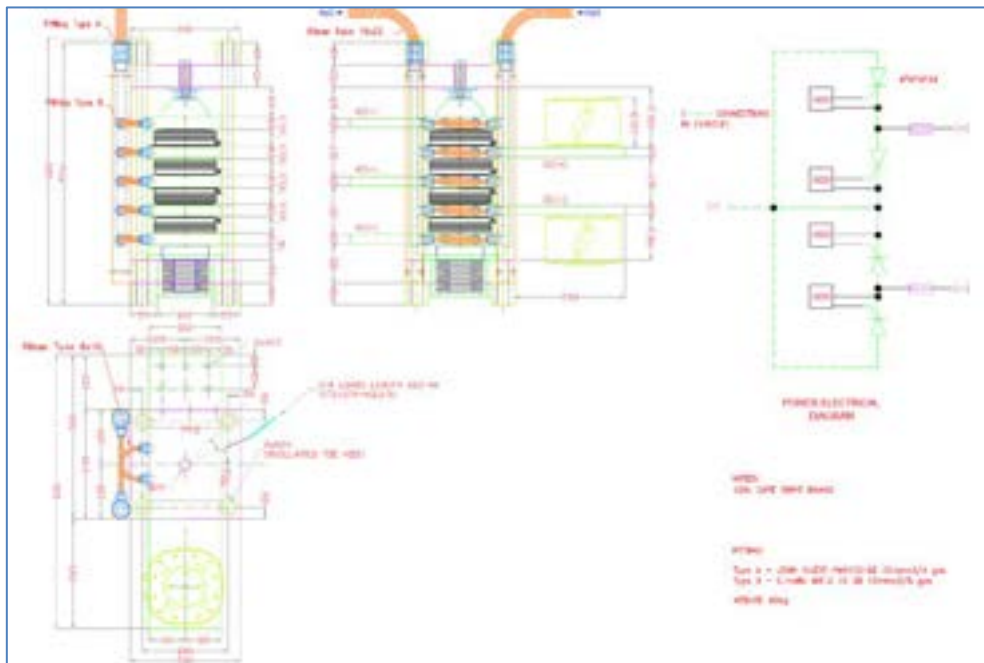


Figura 5 – Power Stack CS2/CS3



Figura 6 – Dettaglio del CS1 power assembly.



Figura 7 – Vista frontale del CS1 power assembly.



Figura 8 – Vista posteriore del CS1 power assembly.



Figura 9 – Crowbar power assembly CS1/CS4



Figura 10- Crowbar power assembly CS1/CS4



Figura 11- Realizzazione del modulo 1 del CS1.



Figura 12 - Realizzazione del modulo 2 del CS1



Figura 13 - Sistema di raffreddamento del CS1.



Figura 14 - Realizzazione del modulo 1 del CS4.



Figura 15 - Realizzazione del modulo 2 del CS4



Figura 16 - Sistema di raffreddamento del CS4



Figura 17 – CS3 posizionato nella sala prove.



Figura 18 – Armadio con tiristori CS3.



Figura 19 – dettaglio del sezionatore DC.

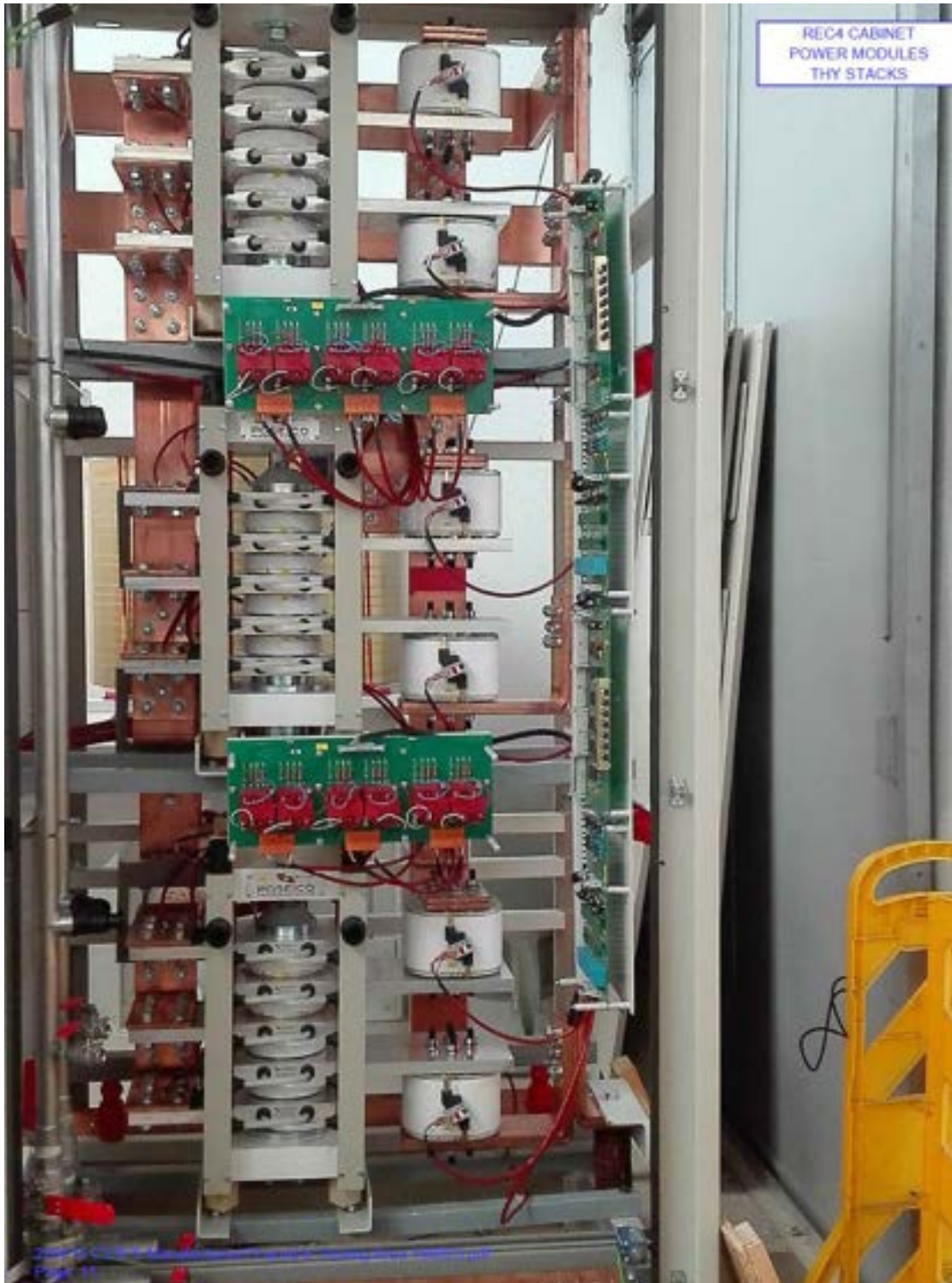


Figura 20 – Armadio 4 con tiristori CS3



Figura 21 – CS2 nella sala prove.



Figura 22 – dettaglio CS2



Figura 23 – Dettaglio CS2.

## 2.2 Collaudo dei CS1 e CS4

I convertitori CS1 e CS4 una volta posizionati nell'area test, seguendo lo schema elettrico di misura illustrato nella figura 24 si evidenzia:

- la rete principale 30kV in arrivo a JEMA;
- l'autotrasformatore offre la possibilità se aumentare o diminuire la tensione proveniente dalla rete principale che sta per i quattro trasformatori;
- due trasformatori alimentano i quattro raddrizzatori (due raddrizzatori in parallelo con ciascuna secondario del trasformatore);
- l'uscita CS1PS CC è collegato al carico principale che consiste di tre induttanze collegate in serie, risultanti alla 3,3mH e 3m $\Omega$ .
- CS4PS è alimentato dagli stessi trasformatori da con cavo di sezione inferiore per testare a ridotto livello attuale. Tuttavia, CS1 e CS4 non possono essere collegati a trasformatori di potenza contemporaneamente.

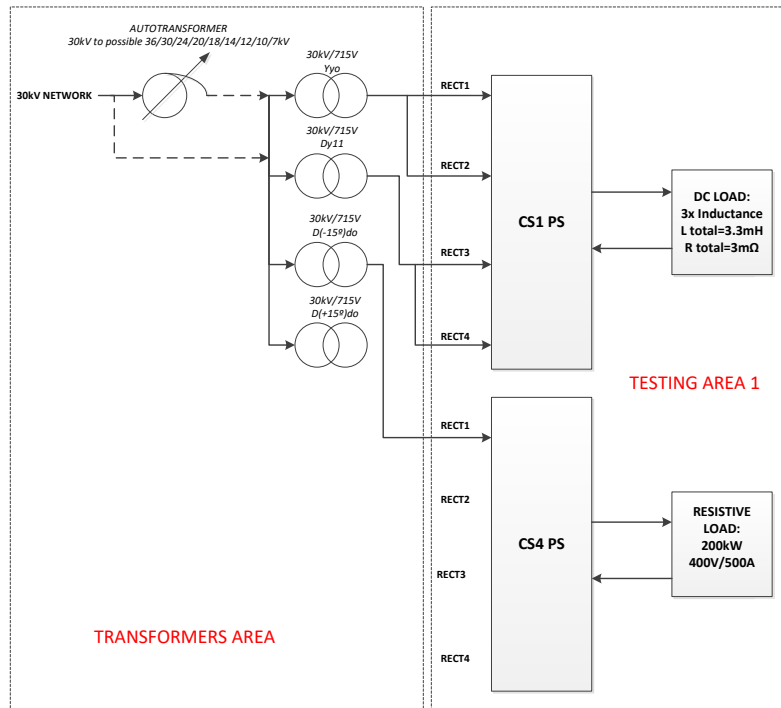


Figura 24 – Schema elettrico di misura.

In luglio sono state eseguite le seguenti prove di collaudo sui convertitori CS1 e CS4:

- 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 CS1).

Tutte le prove eseguite hanno dato esito positivo al controllo

Le figure 25 e 26 mostrano i risultati delle prove con controllo in corrente ed in tensione rispettivamente. La figura 27 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 QST (Giappone) come dalla foto di figura 28.

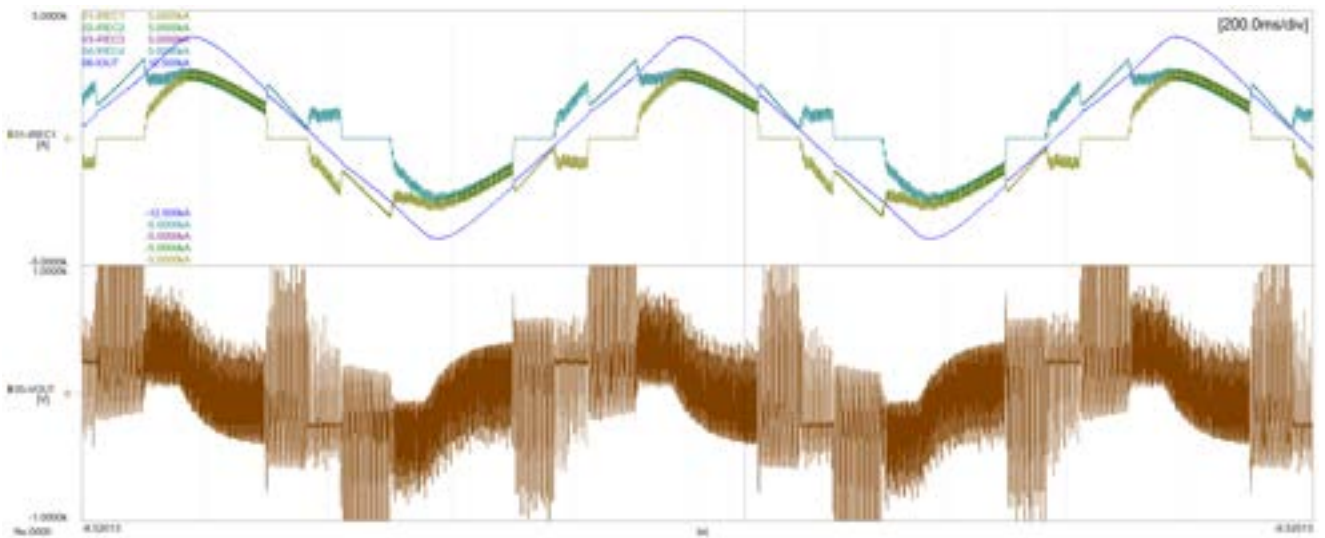


Figura 25 – dettaglio delle transizioni del CS1 con controllo in corrente.

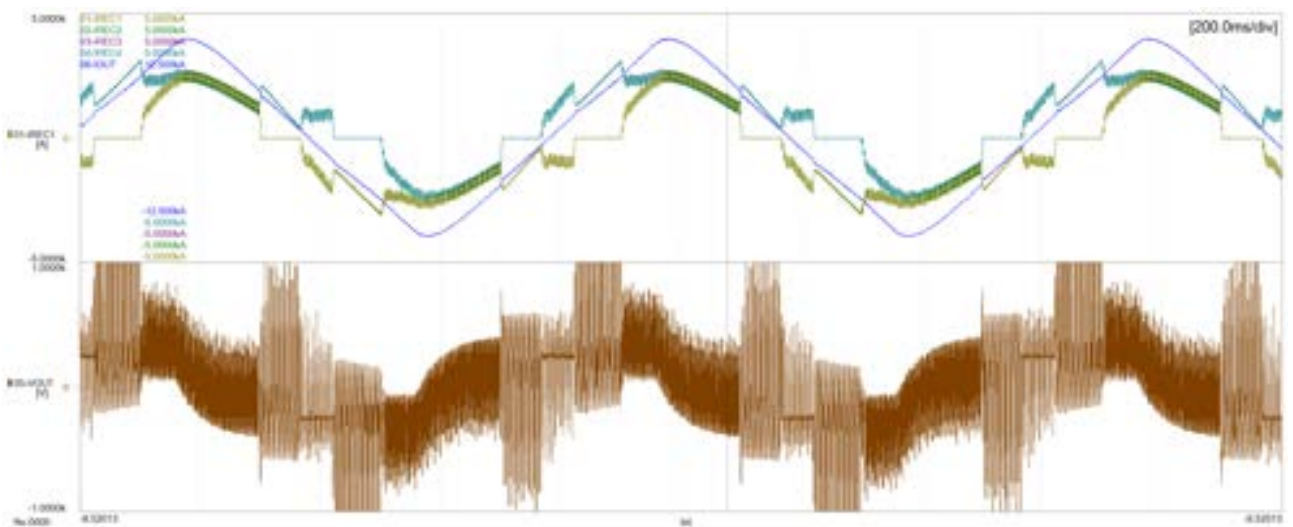


Figura 26 – dettaglio delle transizioni del CS1 con controllo in tensione.



Figura 27 – Prova di tipo a corrente nominale del CS1.



Figura 28 – Testimoni durante le prove di collaudo del CS1 e CS4.

### 3 Conclusioni

Sono state correttamente eseguite con esito positivo le fasi contrattuali 4A e 4B che prevedono rispettivamente:

- 1) la realizzazione dei dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle relative prove di accettazione secondo quanto previsto negli allegati tecnici;
- 2) la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3 secondo quanto previsto negli allegati tecnici.

Tutte le prove eseguite sui CS1 e CS4 hanno dato esito positivo al controllo.