



## Ricerca di Sistema elettrico

# Completa realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3

Pietro Zito, Alessandro Lampasi, Fabio Starace

COMPLETA REALIZZAZIONE DEI QUADRI ELETTRICI DEI RADDRIZZATORI A TIRISTORI DEI CONVERTITORI PER CS2 E CS3

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 CS2 E CS3 .....                | 5  |
| 2.2 COLLAUDO DEI CS2 E CS3 .....                     | 17 |
| 3 CONCLUSIONI.....                                   | 22 |

## 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 trasformatori per CS2 e CS3 e l'esecuzione delle prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici. Inoltre, sono stati completati i convertitori CS1, CS4 e completata la sottofase 4B "la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3 secondo quanto previsto negli allegati tecnici", oggetto di questo report.

## 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 e 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 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 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 a 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 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". Infine, la sottofase 4B "la realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3 secondo quanto previsto negli allegati tecnici" prevede il completamento dei convertitori CS2 e CS3, oggetto di questo report.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Realizzazione dei CS2 e CS3

La Figura 1 mostra il layout del sito di installazione così come previsto dalla documentazione di progetto per i convertitori CS2 e CS3. Lo schema elettrico è riportato in figura 2; mentre la successiva figura 3 mostra il power assembly dei CS. Inoltre il power assembly dei CS2/CS3 e relativo crowbar sono riportati nelle figure da 4 a 8. 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 9, 10, 11 e 12 riportano gli armadi del CS3 e il sistema di raffreddamento del convertitore CS3, mentre le restanti figure 13, 14 e 15 riportano il moduli di potenza e il sistema di raffreddamento del convertitore CS3. La figura 9 mostra il convertitore CS3 montato e posizionato in sala prove; mentre la figura 14 mostra il CS2 collegato al carico ed alimentato per l'esecuzione delle prove.

La fase di realizzazione del CS2/CS3 è stata completata in settembre 2016.

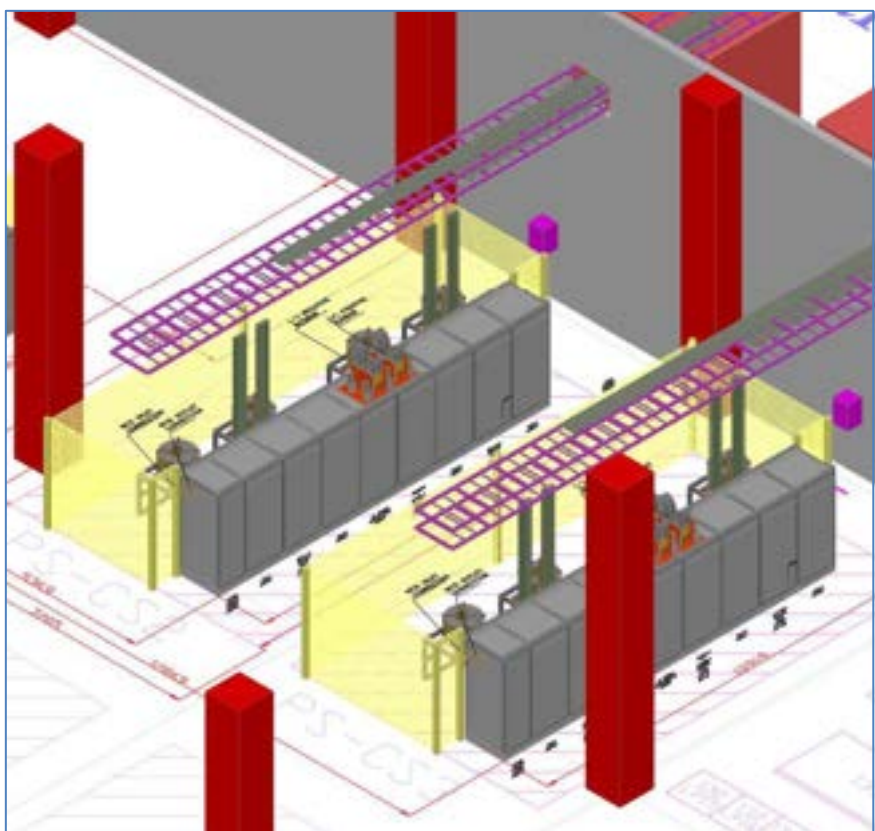


Figura 1 - Plant layout CS2 e CS3

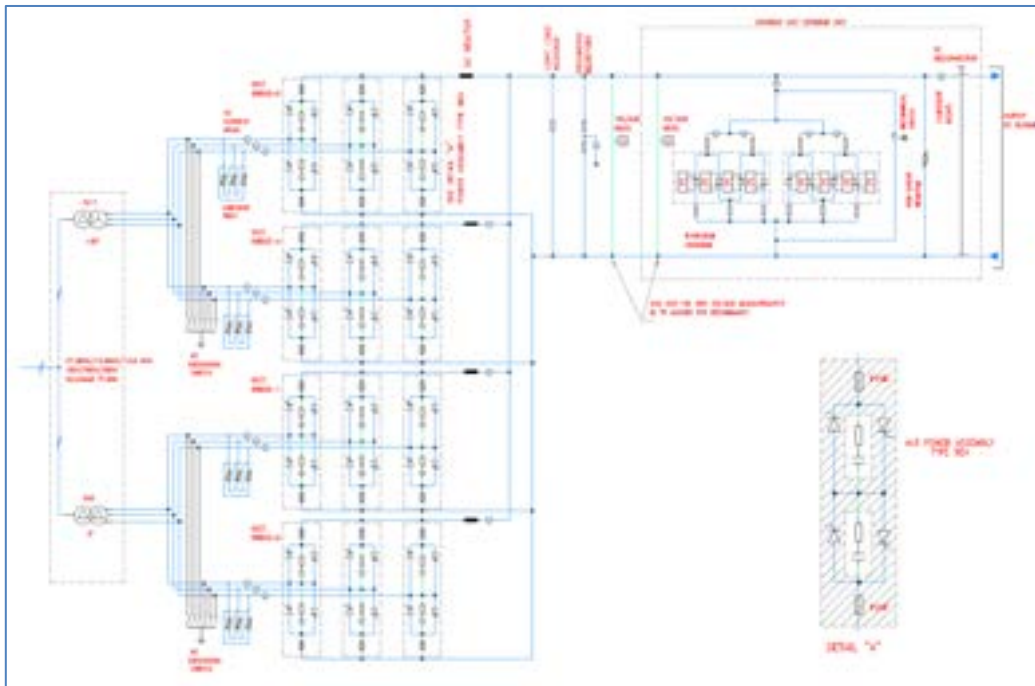


Figura 2 - Single line drawing of CS2/CS3

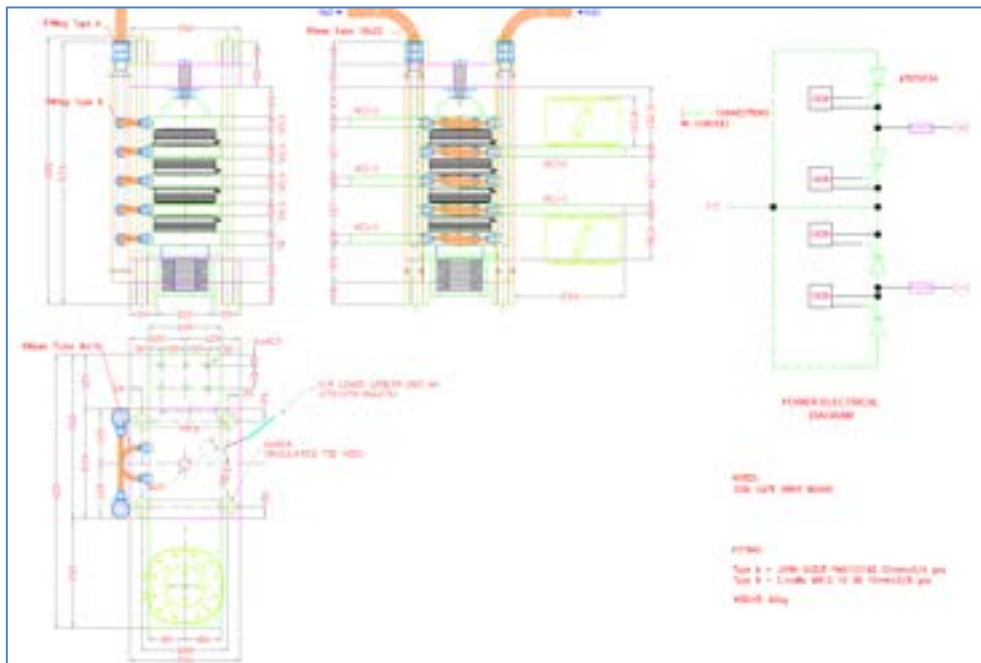


Figura 3 – Power Stack CS2/CS3



Figura 4 – Dettaglio del CS2 power assembly.



Figura 5 – Vista frontale del CS2 power assembly.



Figura 6 – Vista posteriore del CS2 power assembly.



Figura 7 – Crowbar power assembly CS2/CS3



Figura 8— Crowbar power assembly CS2/CS3



Figura 9 – CS3 posizionato nella sala prove.



Figura 1 – Armadio con tiristori CS3.



Figura 2 – dettaglio del sezionatore DC.



Figura 3 – Armadio 4 con tiristori CS3



Figura 4 – CS2 nella sala prove.



Figura 5 – dettaglio CS2



Figura 6 – Dettaglio CS2.

## 2.2 Collaudo dei CS2 e CS3

I convertitori CS2 e CS3 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 CS2PS CC è collegato al carico principale che consiste di tre induttanze collegate in serie, risultanti alla 3,3mH e 3mΩ.
- CS3PS è alimentato dagli stessi trasformatori con cavo di sezione inferiore per testare a ridotto livello attuale. Tuttavia, CS2 e CS3 non possono essere collegati a trasformatori di potenza contemporaneamente.

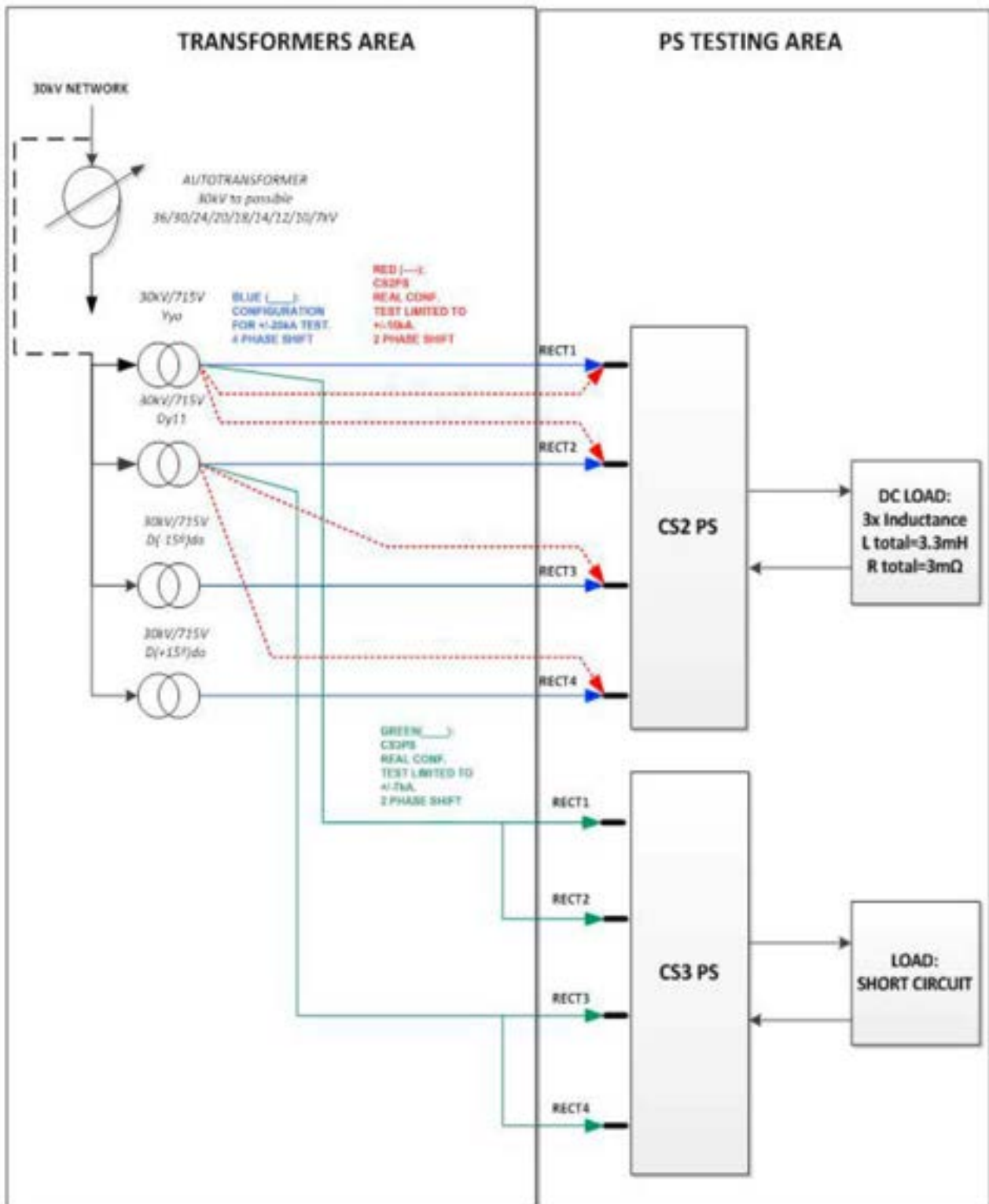


Figura 16 – Schema elettrico di misura.

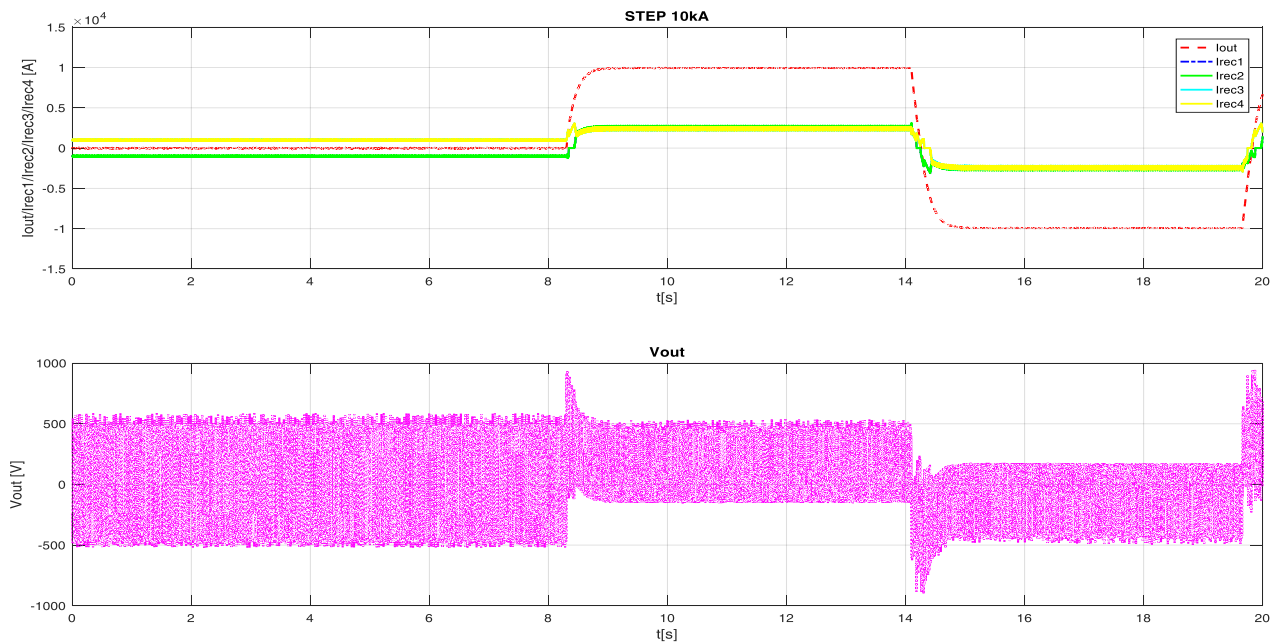
In luglio sono state eseguite le seguenti prove di collaudo sui convertitori CS2 e CS3:

- 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 CS2).

Tutte le prove eseguite hanno dato esito positivo al controllo

Le figure 17 e 20 mostrano i risultati delle prove con controllo in corrente. La figura 19 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 21.



**Figura 17 – Transizioni del CS2 con controllo in corrente.**

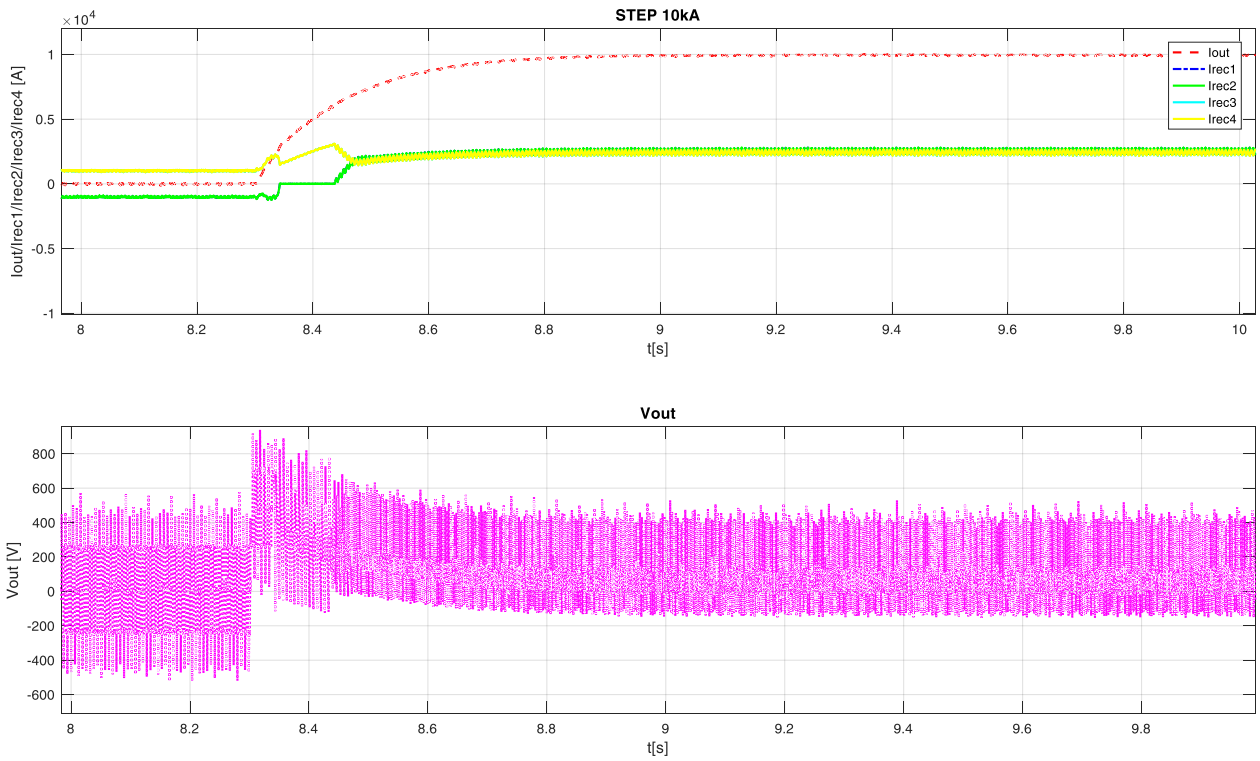


Figura 18 – dettaglio delle transizioni del CS2 con controllo in corrente.

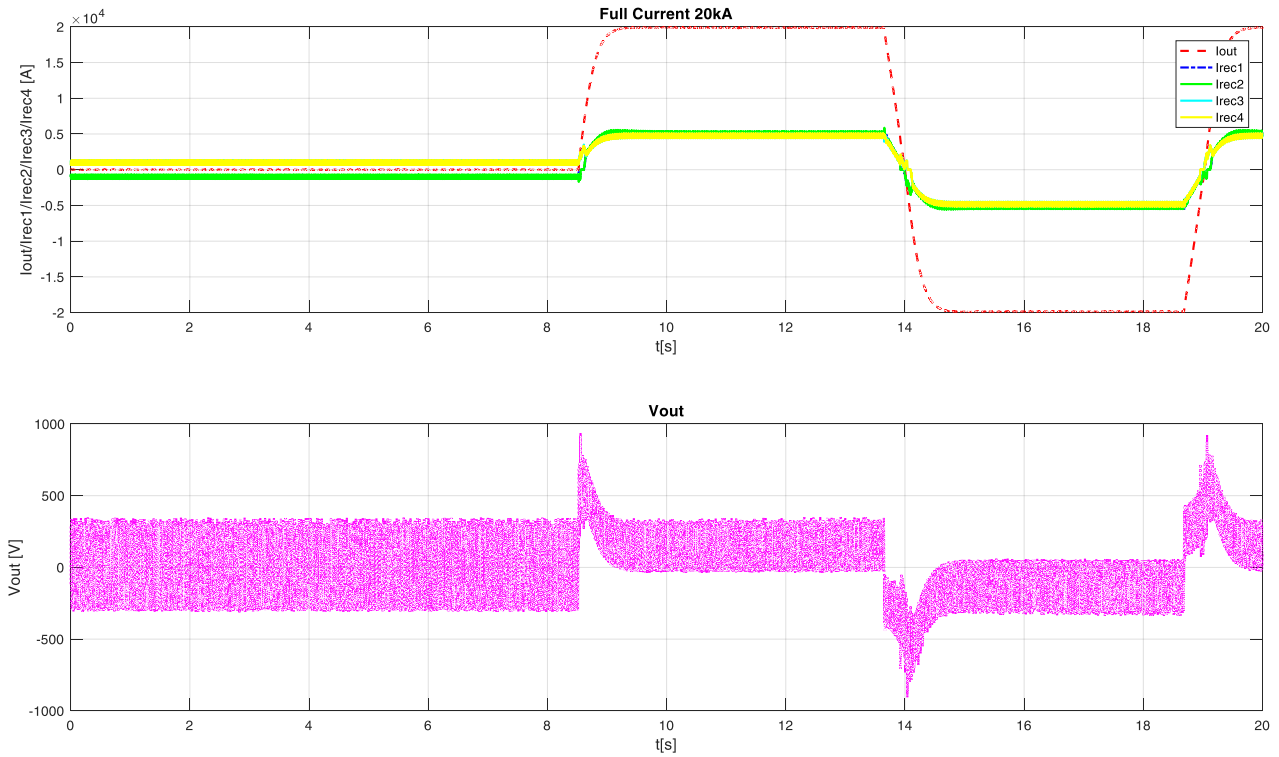


Figura 19 – Prova di tipo a corrente nominale del CS2.

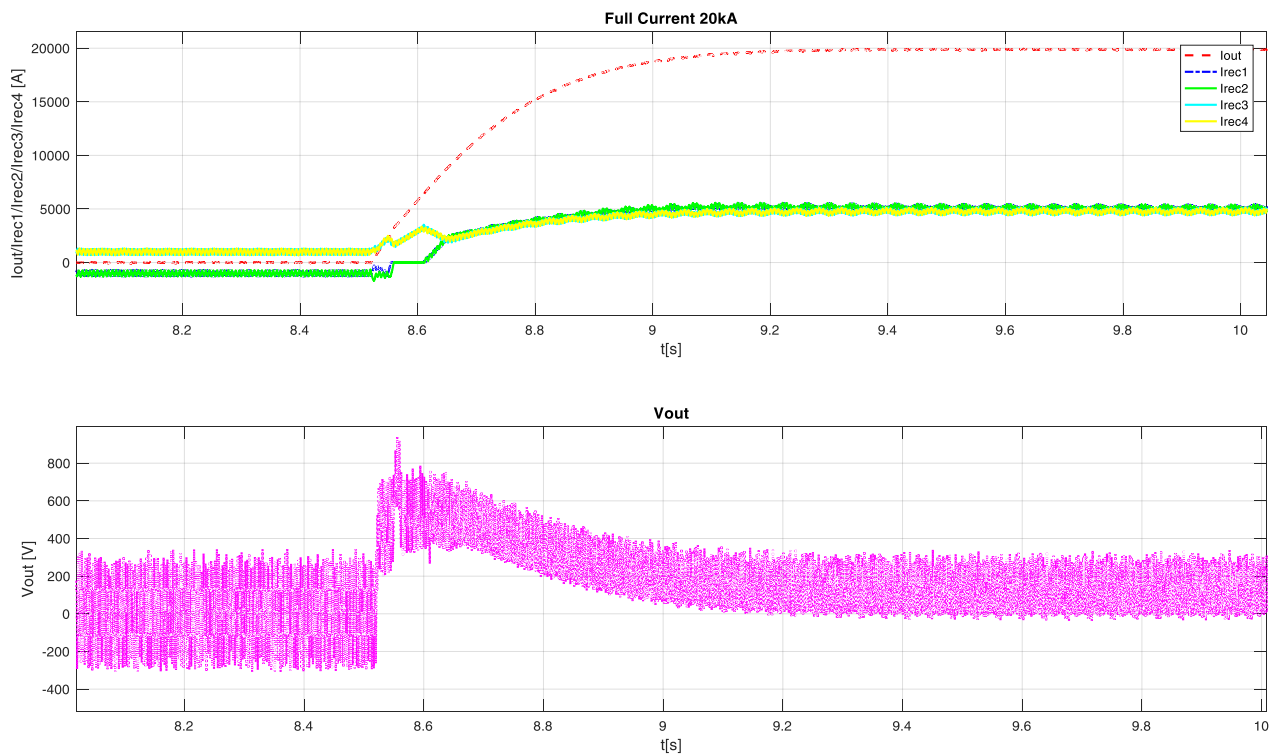


Figura 20 – dettaglio della prova di tipo a corrente nominale del CS2.



Figura 21 – Testimoni durante le prove di collaudo del CS2 e CS3.

### 3 Conclusioni

È stata correttamente eseguita con esito positivo la fase contrattuale 4B che prevede: 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 hanno dato esito positivo al controllo.