



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Verifica sperimentale di prototipi di elementi scaldanti per l'impianto SPES-3 – Barre TERMOCOAX

M. Boni, O. De Pace, S. Gandolci



Report RdS/2012/018

VERIFICA SPERIMENTALE DI PROTOTIPI DI ELEMENTI SCALDANTI PER L'IMPIANTO SPES-3 – BARRE THERMOCOAX

M. Boni, O. De Pace, S. Gandolfi, SIET

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

Responsabile del Progetto: Paride Meloni, ENEA

Titolo

**VERIFICA SPERIMENTALE DI PROTOTIPI
DI ELEMENTI SCALDANTI PER L'IMPIANTO
SPES-3 – BARRE THERMOCOAX**

Ente emittente SIET

PAGINA DI GUARDIA

Descrittori

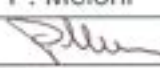
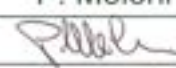
Tipologia del documento: Rapporto Tecnico
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"
Argomenti trattati: Reattori e sistemi innovativi
 Sicurezza Nucleare

Sommario

Questo documento, emesso nell'ambito del progetto "Nuovo Nucleare da Fissione" del Piano Annuale di Realizzazione 2011 (PAR 2011) dell'Accordo di programma MSE ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, riporta i risultati delle prove eseguite su prototipi di barre scaldanti realizzate dalla ditta Thermocoax (F), per un eventuale utilizzo nel canale di potenza dell'impianto SPES 3. La campagna di prove di qualifica è stata eseguita presso l'impianto Circuito Prova Barre presso i laboratori SIET (Piacenza, I). L'attività sperimentale è stata finalizzata alla verifica sia delle caratteristiche meccaniche (deformazione, ovalizzazione, integrità strutturale, fessurazione della camicia esterna) ed elettriche (isolamento elettrico e resistenza interna) degli elementi scaldanti e delle loro termocoppie di parete, sia della potenza generata e dell'uniformità assiale del flusso nella parte attiva. A tale scopo le barre Thermocoax sono state sottoposte alle prove di collaudo del circuito idraulico (Shakedown test) e alle prove con transitorio di pressione, potenza e temperatura atte a riprodurre le sollecitazioni termoidrauliche tipiche dei transitori SPES-3.

La sperimentazione sulle barre Thermocoax ha evidenziato sia aspetti positivi sia aspetti negativi. Fatto positivo è la limitata variazione di resistenza con la temperatura che comporta una variazione inferiore al 5% sia del valore della corrente sia del valore di tensione, entrambe entro i limiti tecnici dei generatori di potenza. Gli aspetti negativi riguardano la tecnologia di installazione di queste termocoppie, che non può essere considerata affidabile per impieghi sull'impianto SPES-3.

Note
Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	27/08/2012	NOME	P. Meloni		P. Meloni
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		CONVALIDA	VISTO	APPROVAZIONE



EMITTENTE
issued by
Unità di Produzione
Production Unit

CLIENTE: <i>client</i>	ENEA	COMMESSA: <i>Job</i>	1PN00PBS10608	DISCO: <i>disk</i>	PAGINA: <i>page</i>	1	DI: <i>of</i>	126
----------------------------------	-------------	--------------------------------	----------------------	------------------------------	-------------------------------	----------	-------------------------	------------

IDENTIFICATIVO: <i>document</i>	01 814 RP 12	Classe Ris.: <i>confidentiality</i>	Allegati: <i>enclosures</i>	2
---	---------------------	---	---------------------------------------	----------

TITOLO: <i>title</i>	VERIFICA SPERIMENTALE DI PROTOTIPI DI ELEMENTI SCALDANTI PER L'IMPIANTO SPES 3 – BARRE THERMOCOAX
--------------------------------	--

REDATTORI: <i>prepared by</i>	M. Boni, O. De Pace, S. Gandolfi
---	---

SOMMARIO <i>abstract</i>	Questo documento, emesso nell'ambito del progetto "Nuovo Nucleare da Fissione" del Piano Annuale di Realizzazione 2011 (PAR 2011) dell'Accordo di programma MSE ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, riporta i risultati delle prove eseguite su prototipi di barre scaldanti realizzate dalla ditta Thermocoax (F), per un eventuale utilizzo nel canale di potenza dell'impianto SPES-3. La campagna di prove di qualifica è stata eseguita sull'impianto "Circuito Prova Barre" presso i laboratori SIET (Piacenza, I).
------------------------------------	--

LISTA DI DISTRIBUZIONE <i>distribution list</i>	P. Meloni (ENEA)
---	-------------------------

0	15/06/2012	EMISSIONE <i>Issue</i>	 S. Gandolfi O. De Pace M. Boni	A. Achilli
REV <i>rev</i>	DATA <i>date</i>	DESCRIZIONE <i>description</i>	REDAZIONE <i>prepared by</i>	APPROVAZIONE <i>approved by</i>

Informazioni strettamente riservate di proprietà SIET SpA - Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui sono state fornite.
Confidential information property of SIET SpA - Not to be used for any purpose other than those for which it is supplied.

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	7
2.	CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	8
3.	IMPIANTO CIRCUITO PROVA BARRE.....	9
4.	LOOP DI REGOLAZIONE.....	12
5.	PARAMETRI DI CONTROLLO.....	14
6.	STRUMENTAZIONE	16
7.	BARRE SCALDANTI THERMOCOAX.....	19
7.1.	GUAINA ESTERNA.....	19
7.2.	CARATTERISTICHE ELETTRICHE.....	20
7.3.	POSIZIONE DELLE TERMOCOPPIE	20
8.	VERIFICA DELLE CARATTERISTICHE DELLE BARRE SCALDANTI.....	21
9.	ATTIVITÀ SPERIMENTALE	23
10.	ESTRAZIONE DEL FASCIO DI BARRE ROTFIL	24
10.1.	CONDIZIONE DELLE BARRE ROTFIL	24
10.2.	CONDIZIONE DELLA TENUTA IDRAULICA	25
11.	ASSEMBLAGGIO DEL FASCIO DI BARRE THERMOCOAX	28
11.1.	TENUTA IDRAULICA.....	28
11.2.	FLANGIA DI SUPPORTO E ALIMENTAZIONE	29
12.	TEST SPERIMENTALI.....	31
12.1.	MODALITÀ OPERATIVE	34
13.	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	36
13.1.	SHAKEDOWN TEST	37
13.2.	STANDARD TEST	43
13.3.	LOW POWER TEST	109
13.4.	ENDURANCE AND STRESS TEST	118
14.	CONCLUSIONI	124
15.	RIFERIMENTI	126
	ALLEGATO 1 ESTRATTO DEL MANUFACTURING REPORT	1
	ALLEGATO 2 DIAGRAMMA STRUMENTATO DEL CIRCUITO PROVA BARRE	1

LISTA DELLE TABELLE

TABELLA 1 - IMPIANTO CPB – ELENCO STRUMENTAZIONE	18
TABELLA 2 - RILEVAZIONE CARATTERISTICHE ELETTRICHE	20
TABELLA 3 - COMPOSIZIONE DEL MATERIALE ISOLANTE	20
TABELLA 4 - POSIZIONI ASSIALI DELLE TERMOCOPPIE DI PARETE DELLE BARRE	21
TABELLA 5 - DATI DI VERIFICA BARRA A2RQ01.....	22
TABELLA 6 - DATI DI VERIFICA BARRA A2RQ02.....	22
TABELLA 7 - DATI DI VERIFICA BARRA A2RQ03.....	22
TABELLA 8 - DATI DI VERIFICA BARRA A2RQ04.....	22
TABELLA 9 - PRINCIPALI GRANDEZZE DI CONTROLLO DELL'IMPIANTO	33
TABELLA 10 - ELENCO DELLE GRANDEZZE REGISTRATE NEI FILE DAL SAD	34
TABELLA 11 - ELENCO DEI TEST ESEGUITI	37
TABELLA 12 - DETTAGLI SUGLI SHAKEDOWN TEST	38
TABELLA 13 - TEST N 3 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	43
TABELLA 14 - TEST N 4 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	43
TABELLA 15 - TEST N 5 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	43
TABELLA 16 - TEST N 6 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	44
TABELLA 17 - TEST N 7 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	44
TABELLA 18 - TEST N 8 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	44
TABELLA 19 - TEST N 9 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	44
TABELLA 20 - TEST N 10 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	45
TABELLA 21 - TEST N 11 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	45
TABELLA 22 - TEST N 12 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	45
TABELLA 23 - TEST N 13 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	45
TABELLA 24 - TEST N 14 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	46
TABELLA 25 - TEST N 15 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	46
TABELLA 26 - TEST N 16 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	46
TABELLA 27 - TEST N 17 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	46
TABELLA 28 - TEST N 18 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	47
TABELLA 29 - TEST N 19 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	47
TABELLA 30 - TEST N 20 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	47
TABELLA 31 - TEST N 21 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	47
TABELLA 32 - TEST N 22 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	48
TABELLA 33 - TEST N 23 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	48
TABELLA 34 - TEST N 24 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	48
TABELLA 35 - TEST N 25 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	48
TABELLA 36 - TEST N 26 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	49
TABELLA 37 - TEST N 27 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	49
TABELLA 38 - TEST N 28 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	49
TABELLA 39 - TEST N 29 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	49
TABELLA 40 - TEST N 30 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	50
TABELLA 41 - DETTAGLI SUGLI "STANDARD TEST"	52
TABELLA 42 - DETTAGLI SUI "LOW POWER TEST"	109
TABELLA 43 - TEST N 35 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	118
TABELLA 44 - TEST N 36 : VALORI NOMINALI PRIMA DEL TRIP	118
TABELLA 45 - DETTAGLI SUGLI "ENDURANCE AND STRESS TEST"	119

LISTA DELLE FIGURE

FIGURA 1 - CIRCUITO PROVA BARRE	10
FIGURA 2 - FASCIO DI BARRE ROTFIL APPENA ESTRATTO	24
FIGURA 3 - FASCIO DI BARRE ROTFIL	25
FIGURA 4 - ESTRUSIONE DEL PACCO TENUTA SUPERIORE DELLE BARRE ROTFIL	25
FIGURA 5 - PACCHI DI TENUTA IN KARLEZ® 7090 DELLE BARRE ROTFIL	26
FIGURA 6 - PACCO DI TENUTA INFERIORE DI KARLEZ® 7090	26
FIGURA 7 - PACCO DI KARLEZ® 7090 SUPERIORE	27
FIGURA 8 - GUARNIZIONI IN KARLEZ® 4079	28

FIGURA 9 - TENUTE IN KARLEZ®4090.....	29
FIGURA 10 - PARTICOLARE DELLE TERMOCOPPIE DI PARETE DELLE BARRE.....	29
FIGURA 11 - PARTICOLARE DELLA FLANGIA DI SUPPORTO E ALIMENTAZIONE DELLE BARRE.....	30
FIGURA 12 - SCHEMA DEL CIRCUITO IDRAULICO.....	32
FIGURA 13 - TEST 1 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	39
FIGURA 14 - TEST 1 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	40
FIGURA 15 - TEST 2 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	41
FIGURA 16 - TEST 2 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	42
FIGURA 17 - TEST 3 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	53
FIGURA 18 - TEST 3 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	54
FIGURA 19 - TEST 4 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	55
FIGURA 20 - TEST 4 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	56
FIGURA 21 - TEST 5 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	57
FIGURA 22 - TEST 5 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	58
FIGURA 23 - TEST 6 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	59
FIGURA 24 - TEST 6 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	60
FIGURA 25 - TEST 7 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	61
FIGURA 26 - TEST 7 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	62
FIGURA 27 - TEST 8 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	63
FIGURA 28 - TEST 8 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	64
FIGURA 29 - TEST 9 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	65
FIGURA 30 - TEST 9 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	66
FIGURA 31 - TEST 10 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	67
FIGURA 32 - TEST 10 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	68
FIGURA 33 - TEST 11 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	69
FIGURA 34 - TEST 11 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	70
FIGURA 35 - TEST 12 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	71
FIGURA 36 - TEST 12 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	72
FIGURA 37 - TEST 13 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	73
FIGURA 38 - TEST 13 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	74
FIGURA 39 - TEST 14 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	75
FIGURA 40 - TEST 14 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	76
FIGURA 41 - TEST 15 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	77
FIGURA 42 - TEST 15 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	78
FIGURA 43 - TEST 16 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	79
FIGURA 44 - TEST 16 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	80
FIGURA 45 - TEST 17 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	81
FIGURA 46 - TEST 17 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	82
FIGURA 47 - TEST 18 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	83
FIGURA 48 - TEST 18 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	84
FIGURA 49 - TEST 19 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	85
FIGURA 50 - TEST 19 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	86
FIGURA 51 - TEST 20 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	87
FIGURA 52 - TEST 20 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	88
FIGURA 53 - TEST 21 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	89
FIGURA 54 - TEST 21 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	90
FIGURA 55 - TEST 22 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	91
FIGURA 56 - TEST 22 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	92
FIGURA 57 - TEST 23 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	93
FIGURA 58 - TEST 23 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	94
FIGURA 59 - TEST 24 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	95
FIGURA 60 - TEST 24 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	96
FIGURA 61 - TEST 25 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	97
FIGURA 62 - TEST 25 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	98
FIGURA 63 - TEST 26 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	99
FIGURA 64 - TEST 26 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	100
FIGURA 65 - TEST 27 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	101

FIGURA 66 - TEST 27 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	102
FIGURA 67 - TEST 28 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	103
FIGURA 68 - TEST 28 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	104
FIGURA 69 - TEST 29 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	105
FIGURA 70 - TEST 29 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	106
FIGURA 71 - TEST 30 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	107
FIGURA 72 - TEST 30 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	108
FIGURA 73 - TEST 31 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	110
FIGURA 74 - TEST 31 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	111
FIGURA 75 - TEST 32 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	112
FIGURA 76 - TEST 32 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	113
FIGURA 77 - TEST 33 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	114
FIGURA 78 - TEST 33 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	115
FIGURA 79 - TEST 34 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	116
FIGURA 80 - TEST 34 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	117
FIGURA 81 - TEST 35 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	120
FIGURA 82 - TEST 35 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	121
FIGURA 83 - TEST 36 : PRINCIPALI GRANDEZZE TERMOIDRAULICHE	122
FIGURA 84 - TEST 36 : TEMPERATURE DI PARETE DELLE BARRE SCALDANTI	123

NOMENCLATURA

BAF	Bottom of Active Fuel
CPB	Circuito Prova Barre
EBT	Emergency Boration Tank
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
HOT ROD	Barra scaldante di potenza maggiorata
IRIS	International Reactor Innovative and Secure
LOCA	Loss of Coolant Accident
MSE	Ministero dello Sviluppo Economico
NORMAL ROD	Barra scaldante di potenza standard
PAR	Piano Annuale di Realizzazione
PID	Proportional, Integrative, Derivative (regolatore di processo ad azione proporzionale, integrativa e derivativa)
PLC	Programmable Logical Controller (controllore logico programmabile)
PWM	Pulse Width Modulation (modulazione ad ampiezza di impulso)
PWR	Pressurized Water Reactor
RPV	Reactor Pressure Vessel
SAD	Sistema di Acquisizione Dati
SCR	Silicon Controlled Rectifier (raddrizzatore controllato al silicio)
SIET	Società Informazioni Esperienze Termoidrauliche
SPES	Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza
SSR	Solid State Relè (relè allo stato solido)
TAF	Top of Active Fuel

1. Introduzione

La linea progettuale 2 del progetto "Nuovo Nucleare da Fissione" prevede la realizzazione di un simulatore sperimentale di un reattore SMR di tipo integrale, in cui tutti i componenti del circuito primario (pressurizzatore, generatori di vapore, ecc.) sono contenuti all'interno del vessel primario (RPV).

L'impianto nucleare preso a riferimento per la progettazione di SPES3 è il reattore ad acqua in pressione IRIS, in cui primario e contenimento si accoppiano dinamicamente per mitigare le conseguenze di eventi incidentali tipo LOCA.

L'impianto sperimentale SPES3 rappresenta il reattore IRIS in scala 1:100 in volume e 1:1 in altezza ed è riscaldato elettricamente da un fascio di 235 barrette prototipiche, che simula il core del reattore.

Le barrette trasmettono potenza al fluido per riscaldamento indiretto, ossia per il riscaldamento di una resistenza interna, isolata dalla guaina esterna per mezzo di un materiale ad alto isolamento.

Prima di procedere all'approvvigionamento del fascio di barre per SPES3, è necessario eseguire una serie di prove su dei prototipi, al fine di verificarne la funzionalità sia dal punto di vista elettrico che meccanico.

Presso i laboratori SIET è stato progettato e costruito un impianto, denominato "Circuito Prova Barre" (CPB), in cui è possibile installare fino a quattro prototipi di barra scaldante ed eseguire test in condizioni stazionarie e transitorie. Il progetto del circuito e la descrizione dettagliata dell'impianto "as built" sono riportati rispettivamente nei documenti [3] e [4].

Il presente documento descrive la campagna sperimentale, effettuata sull'impianto CPB, per valutare il set di barre scaldanti fornito dalla ditta Thermocoax (F), realizzate secondo la specifica [1].

Questa campagna sperimentale segue quella in precedenza eseguita, nell'ambito del PAR 2008-2009, su un set di barre di produzione Rotfil (I).

2. CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Il presente documento riporta le seguenti informazioni:

- descrizione dell'impianto di prova;
- presentazione dei dati della verifica preliminare delle caratteristiche meccaniche ed elettriche delle barre scaldanti;
- descrizione delle prove effettuate;
- presentazione dei dati sperimentali.

3. IMPIANTO CIRCUITO PROVA BARRE

3.1 Scopo dell'impianto

L'impianto CPB è stato progettato e realizzato con l'obiettivo primario di verificare il funzionamento delle barre di potenza che saranno impiegate in SPES-3. L'impianto può essere utilizzato anche per la valutazione sperimentale del flusso termico critico.

L'impianto ed i suoi circuiti ausiliari sono dimensionati per eseguire test a piena potenza di quattro barre scaldanti con modalità e numero di ripetizioni tale da coprire le possibili condizioni di esercizio in condizioni nominali e di incidente, come previsto dalla simulazione RELAP5 dell'incidente di rottura a ghigliottina della linea del DVI dell'impianto SPES3.

3.2 Caratteristiche dell'impianto

Il circuito prova barre riproduce le dimensioni di SPES3 in scala 1:1 in altezza per le parti da provare, mentre le aree di passaggio sono scalate di un fattore di circa 1:50. Il circuito è costituito da:

- un circuito principale che ospita le barre scaldanti;
- uno scambiatore;
- un circuito di simulazione dell'EBT;
- un pressurizzatore cilindrico collegato all'impianto mediante una linea di disaccoppiamento idraulico.

Le principali caratteristiche del circuito sono riassunte di seguito:

o volume di acqua nel circuito principale	0.0325 m ³ di cui 0.0035 m ³ nel pressurizzatore
o volume di acqua nel circuito EBT	0.005 m ³ ;
o Pressione di progetto	17.25 MPa
o Temperatura di progetto	353.5 °C (temperatura di saturazione)
o Pressione di esercizio	15.5 MPa
o Temperatura di ingresso fascio in esercizio	278 °C
o Temperatura di uscita fascio in esercizio	316 °C
o Salto termico ingresso-uscita ΔT	38 °C
o massima potenza elettrica alle barre	121 kW (2 "normal" da 27612 W e 2 "hot" da 33135 W)
o massima portata massica nel primario	0.54 kg/s
o fluido di processo:	acqua demineralizzata
o tipo circolazione:	naturale.

Le condizioni di progetto del circuito principale sono riportate nei documenti [3] e [4].

La Figura 1 mostra una vista del circuito prova barre.



Figura 1 - Circuito Prova Barre
Particolare linea pressurizzatore e valvola di sicurezza

3.3 Connessione ai sistemi ausiliari

Per il funzionamento del circuito sono necessarie le connessioni con i seguenti impianti ausiliari:

- acqua demineralizzata per il riempimento del circuito;
- linea di scarico per lo svuotamento del circuito;
- impianto acqua industriale per il raffreddamento degli scambiatori principale ed EBT;
- l'alimentazione elettrica alle barre in prova.

Il riempimento del circuito con acqua è eseguito mediante la pompa a pistoni ad alta pressione "IMAMI". In questo caso, agendo sul bypass della pompa stessa, è possibile immettere nel circuito acqua a pressione crescente fino al valore di progetto di 172.5 bar. Il superamento della pressione di 172.5 bar determina l'apertura della valvola di sicurezza posta sul pressurizzatore.

La pressurizzazione del circuito idraulico avviene mediante iniezione di gas, nel duomo del pressurizzatore.

Lo scarico del circuito principale può essere effettuato sia a caldo sia a freddo, aprendo le linee di drenaggio.

Il raffreddamento dello scambiatore inserito nel ramo discendente del circuito principale è controllato variando il livello di acqua iniettata tramite la pompa "Booster3" nel mantello esterno dello scambiatore coassiale.

L'alimentazione elettrica alle barre del canale è realizzata mediante un generatore in corrente continua "TAMINI". Questo generatore è costituito da due trasformatori elettrici 3kV/160V con i secondari esafase collegati in parallelo e da tre 3 convertitori AC/DC indipendenti e in grado di erogare 8000 A alla tensione di 167V, per una potenza disponibile totale di circa di 4000kW.

L'alimentazione ai quattro elementi scaldanti rappresentanti le barre del canale di potenza è fornita da un solo convertitore collegato mediante una linea elettrica dedicata e dimensionata per supportare la corrente di circa un migliaio di Ampère per fornire una potenza di circa 140kW.

4. LOOP DI REGOLAZIONE

L'impianto CPB è dotato dei seguenti loop di regolazione:

- 1 PIC-030 pressione del circuito;
- 2 LIC-030 livello liquido nel pressurizzatore;
- 3 JIC-050 potenza termica allo scambiatore;
- 4 FIC-040 isolamento sistema iniezione di emergenza (valvola ON/OFF);
- 5 WIC-100 potenza elettrica al canale.

Ogni loop è dotato di un regolatore elettronico di processo.

I regolatori di processo utilizzati sono di tipo programmabile, dotati di interfaccia di comunicazione e sono cablati su un bus standard attraverso il quale comunicano con il software di controllo in esecuzione su un personal computer. Il loro utilizzo permette di eseguire azioni sia in modalità manuale che automatica.

4.1 PIC-030 Pressione del circuito

La pressione è regolata attraverso l'iniezione di aria compressa nel duomo del pressurizzatore. La variabile di processo di questo loop di regolazione è costituita dal segnale dello strumento P30.

4.2 LIC-030 Livello liquido nel pressurizzatore

Per mantenere le condizioni di pressione e temperatura di esercizio deve essere soddisfatto l'equilibrio tra frazione di liquido e la frazione di gas presente nel pressurizzatore in particolare per compensare la variazione di volume del fluido presente nel circuito principale. Il livello di acqua nel pressurizzatore è calcolato nella condizione di liquido sottoraffreddato considerando trascurabile la presenza della frazione gassosa.

La misura di livello L_30 è una variabile controllata dal sistema di regolazione, costituito da un regolatore PID a doppia azione che agisce sulla valvola di by-pass della pompa di alimento primaria ad alta pressione per regolare l'immissione di acqua nel circuito. La variabile di processo di questo loop di regolazione è costituita dal segnale dello strumento DP30. Durante l'esercizio questo loop può essere mantenuto disattivato, previo isolamento del circuito principale dalla mandata della pompa.

Il drenaggio del liquido in eccesso avviene tramite la valvola manuale VD1 che permette di scaricare massa ad alta temperatura, provocando la diminuzione di livello di liquido nel pressurizzatore.

4.3 JIC-050 Potenza termica allo scambiatore

Il mantenimento delle condizioni nominali di temperatura all'ingresso del canale è realizzato mediante uno scambiatore di calore acqua/acqua, il cui primario è rappresentato da una sezione del tratto verticale discendente del circuito principale, mentre il secondario è costituito da una vasca, concentrica al tubo primario, contenente acqua satura a pressione ambiente.

Il volume di scambio viene regolato mediante l'iniezione di acqua fredda dalla linea di riempimento a bassa pressione, tramite un regolatore PID, a singola azione con uscita proporzionale, che agisce sulla valvola di mandata della pompa al fine di mantenere il livello al valore necessario al corretto scambio termico. La variabile di processo del loop JIC-050 è il valore fornito dallo strumento T5, che misura la temperatura di uscita scambiatore lato primario.

4.4 FIC-040 Isolamento sistema iniezione di emergenza

La simulazione del funzionamento dell'impianto SPES-3 prevede l'iniezione di un volume noto di acqua fredda. L'iniezione viene realizzata aprendo, in base ad un comando esterno (azione manuale o programmata) una valvola ON/OFF che viene chiusa una volta fluita la massa di liquido prestabilita o trascorso un periodo di tempo determinato manualmente dall'operatore.

4.5 WIC-100 Potenza elettrica al canale

L'erogazione di potenza elettrica alle barre del canale è realizzata sia in modalità manuale, sia in modalità automatica con "generazione automatica di transitori di potenza", mediante un convertitore AC/DC del gruppo di potenza TAMINI. La modulazione di potenza è realizzata mediante la regolazione dello sfasamento degli impulsi di eccitazione ai diodi controllati (SCR) del convertitore.

5. PARAMETRI DI CONTROLLO

Per garantire il corretto funzionamento delle macchine e dell'impianto sono previste azioni di intervento automatico al manifestarsi di una condizione anomala o di un allarme. Di seguito vengono elencati i parametri di controllo principali utilizzati durante l'esercizio dell'impianto:

1. massima pressione di impianto;
2. massima pressione nel pressurizzatore;
3. massima temperatura delle barre scaldanti;
4. massima temperatura di uscita canale;
5. massima corrente elettrica al canale di potenza;
6. massimo potenziale elettrico al canale di potenza;
7. minimo potenziale elettrico tra canale di potenza e struttura dell'impianto;

Il sistema di controllo dell'impianto è realizzato utilizzando un PLC dotato di interfaccia di comunicazione e collegato in rete Profibus attraverso la quale comunica con il software di controllo in esecuzione su un personal computer.

I cavi provenienti dalla strumentazione di controllo sono cablati agli ingressi del PLC. Gli attuatori discreti (ON/OFF) sono pilotati dai segnali di uscita del PLC.

5.1 Massima pressione d'impianto

Il raggiungimento della massima pressione d'impianto viene rilevato mediante un pressostato con contatto normalmente chiuso. Al raggiungere della pressione di soglia pari a 17 MPa i contatti si aprono. Il pressostato è idraulicamente collegato alla presa manometrica posizionata in prossimità dell'uscita del canale di potenza.

5.2 Massima pressione nel pressurizzatore

Il raggiungimento della massima pressione all'interno del pressurizzatore viene rilevato mediante un pressostato, tarato per intervenire a 17MPa, collegato alla presa manometrica superiore del pressurizzatore.

5.3 Massima temperatura delle barre scaldanti

Ognuna delle quattro barre scaldanti fornite da Thermocoax è dotata di quattro termocoppie brasate sulla superficie della guaina esterna. Queste termocoppie sono collegate al sistema di

controllo della massima temperatura delle barre del canale di potenza, costituito da sedici convertitori di segnale TC/Volt ognuno dotato di doppio loop di allarme collegato al PLC. Al raggiungimento del valore di soglia prefissato avviene l'interruzione della potenza elettrica alle barre. Il valore di soglia di massima temperatura è modificabile dall'operatore. Questo valore di soglia è stato preliminarmente impostato a 750°C.

5.4 Massima temperatura di uscita canale

Alla temperatura T4, di uscita dal canale di potenza, è associato il valore di soglia di 380 °C oltre il quale il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica al canale.

5.5 Massima corrente elettrica al canale di potenza

Alla misura di corrente elettrica totale è associato il valore di soglia di 1000 A. Al raggiungimento di tale soglia, il PLC genera le azioni di interruzione della potenza elettrica alla candela del pressurizzatore e al canale.

5.6 Massima corrente elettrica alla singola barra

Alla misura di corrente elettrica di una singola barra è associato il valore di soglia di 350 A. Al raggiungimento di tale soglia il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica al canale di potenza.

5.7 Massimo potenziale elettrico al canale di potenza

Alla misura di potenziale elettrico è associato il valore di soglia di 145 V. Al raggiungimento di tale soglia il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica al canale di potenza.

5.10 Minimo potenziale elettrico tra canale di potenza e struttura impianto

Alla misura di potenziale elettrico tra la linea di alimentazione alle barre del canale e la struttura dell'impianto è associato il valore di minima tensione, al di sotto del quale è possibile la presenza di scarso isolamento elettrico. Al raggiungimento di tale soglia il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica al canale di potenza. Questo valore di soglia è stato preliminarmente parametrizzato alla metà del valore del potenziale elettrico di alimentazione alle barre.

6. STRUMENTAZIONE

L'impianto CPB è dotato di un insieme di strumenti progettato e realizzato principalmente in funzione dei test di verifica funzionale degli elementi scaldanti, ma anche per eseguire prove sperimentali su piccoli componenti termoidraulici.

La posizione degli strumenti utilizzati per la prova sono indicati nel disegno 074.01.00 rev.3 riportato nell'allegato 2.

Nella tabella seguente sono indicate alcune caratteristiche e informazioni sugli strumenti impiegati.

#	descrizione	Codice	Tipo di	Segnale dello	U. M.	costruttore	modello	tipo di	costruttore	mod.
		misura	Strumento	strumento				condiz.		
1	circuito primario quota inferiore barre	T-1	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
2	circuito primario quota mediana barre	T-2	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
3	circuito primario quota superiore barre	T-3	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
4	Circuito primario discendente quota superiore	T-4	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
5	uscita scambiatore lato primario	T-5	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
6	circuito primario lato discendente zona bassa	T-6	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
7	circuito primario discendente quota inferiore	T-7	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
8	circuito primario iniezione linea di ritorno	T-8	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
9	quota inferiore pressurizzatore	T-30	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
10	quota mediana pressurizzatore	T-31	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
11	quota superiore pressurizzatore	T-32	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
13	uscita linea iniezione scambiatore EBT	T-41	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
14	linea iniezione EBT quota inferiore	T-42	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
15	scambiatore circuito primario lato second.. quota sup.	T-50	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
16	scambiatore EBT lato secondario quota mediana	T-60	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
23	temperatura di parete flangia	TW200C	Termocoppia tipo K di parete	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
25	Temperature ambiente	TROOM	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
27	pressione ingresso canale	P1	Trasmettitore pressione relativa	analogico	mA	HONEYWELL	STD-170			
28	pressione pressurizzatore	P30	Trasmettitore pressione relativa	analogico	mA	E + H	Cerabar S			
29	temperatura di parete flangia tenuta posizione D	TW200D	Termocoppia tipo K di parete	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
30	Temperature ambiente	TROOM	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	TERMOTEC				
32	pressione ingresso canale	P1	Trasmettitore pressione relativa	analogico	mA	HONEYWELL	STD-170			
33	pressione pressurizzatore	P30	Trasmettitore pressione relativa	analogico	mA	E + H	Cerabar S			
34	pressione differenziale barre	DP-1	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
35	pressione differenziale canale di potenza & ramo caldo	DP-3	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
36	pressione differenziale ramo caldo orizzontale	DP-4	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
37	pressione differenziale scambiatore principale lato prim.	DP-5	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
38	pressione differenziale ramo freddo verticale	DP-6	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
39	pressione differenziale ramo freddo orizzontale + valvola	DP-7	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
40	pressione differenziale pressurizz. stretto range lato inf.	DP-30	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
41	pressione differenziale pressurizzatore largo range	DP-31	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			

42	pressione differenziale ramo caldo orizzontale - altezza intermedia prz	DP-32	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
43	pressione differenziale venturimetro	DP-20	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
44	pressione differenziale linea iniezione verticale	DP-40	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
45	pressione differenziale linea iniezione orizzontale & valvola	DP-41	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
46	pressione differenziale scambiatore princip. lato second.	DP-50	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	E + H	Deltabar S			
47	pressione differenziale vaschetta di raccolta	DP-51	Trasmettitore pressione diff.	analogico	mA	HONEYWELL	STD-120			
48	corrente elettrica canale potenza	I100	Shunt	analogico	V	IME	1000A	mV/Volt	WEIDMULLER	WAS PRO DC/DC
48	corrente elettrica su singola barra (barra x - da definire)	I10n	Shunt	analogico	V	IME	300A	mV/Volt	WEIDMULLER	WAS PRO DC/DC
50	tensione elettrica canale potenza	V100	Diretto	analogico	V	n.a.	n.a.	mV/Volt	WEIDMULLER	WAS PRO DC/DC
51	tensione elettrica canale potenza su struttura metallica	V101	Diretto	analogico	V	n.a.	n.a.	mV/Volt	WEIDMULLER	WAS PRO DC/DC
53	fine corsa valvola ON/OFF posizione aperta	Z40O	Fine corsa	analogico	Contatto	TELEMECANIQUE	n.a.			
54	fine corsa valvola ON/OFF posizione chiusa	Z40C	Fine corsa	analogico	Contatto	TELEMECANIQUE	n.a.			
55	temperatura di parete barra 1 pos. A	TW1_A	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax	(***)	TC/Volt	PRELECTRONICS	4116
56	temperatura di parete barra 1 pos. B	TW1_B	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax	(***)	TC/Volt	PRELECTRONICS	4116
57	temperatura di parete barra 1 pos. C	TW1_C	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax	(***)	TC/Volt	PRELECTRONICS	4116
58	temperatura di parete barra 1 pos. D	TW1_D	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax	(***)	TC/Volt	PRELECTRONICS	4116
59	temperatura di parete barra 2 pos. A	TW2_A	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
60	temperatura di parete barra 2 pos. B	TW2_B	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
61	temperatura di parete barra 2 pos. C	TW2_C	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
62	temperatura di parete barra 2 pos. D	TW2_D	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
63	temperatura di parete barra 3 pos. A	TW3_A	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
64	temperatura di parete barra 3 pos. B	TW3_B	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
65	temperatura di parete barra 3 pos. C	TW3_C	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
66	temperatura di parete barra 3 pos. D	TW3_D	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
67	temperatura di parete barra 4 pos. A	TW4_A	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
68	temperatura di parete barra 4 pos. B	TW4_B	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
69	temperatura di parete barra 4 pos. C	TW4_C	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				
70	temperatura di parete barra 4 pos. D	TW4_D	Termocoppia tipo K	mvTC non compensata	mV	Thermocoax				

Tabella 1 - Impianto CPB – Elenco strumentazione

7. BARRE SCALDANTI THERMOCOAX

Il canale di potenza dello SPES3 prevede due tipi di barre scaldanti:

- barre Normal (27.6 kW);
- barre Hot (33.1 kW).

Le barre forniscono energia per effetto Joule provocato dal passaggio di corrente elettrica nella resistenza interna di ogni barra (riscaldamento indiretto).

Le barre Thermocoax sono costituite da una resistenza interna in rame (CuC2) elettricamente isolata dalla guaina esterna realizzata in Inconel 600 SS mediante ossido di magnesio (MgO).

Il bipolo resistivo è elettricamente alimentato mediante due conduttori coassiali a geometria cilindrica. Il conduttore esterno è elettricamente collegato ad un anello conduttivo, presente nel tratto inferiore della barra ed accessibile per il collegamento elettrico. Il conduttore interno è collegato mediante uno spezzone di cavo flessibile utilizzato per il secondo collegamento all'alimentazione elettrica.

La geometria cilindrica assiale garantisce un'ottima distribuzione del flusso termico lungo tutta la barra, mantenendo il gradiente di temperatura monotono lungo l'asse verticale della barra. Questa soluzione limita le possibili deformazioni meccaniche dovute a discontinuità termiche.

Ogni barra è dotata di quattro termocoppie, installate a diverse quote, utilizzate per misurare la temperatura della guaina lungo tutta la sua lunghezza. La costruzione delle barre è stata eseguita conformemente alla specifica tecnica emessa per la realizzazione delle barre da installare sull'impianto SPES3, rif. [1].

Elementi descrittivi della struttura delle barre sono riportate nel manufacturing report emeso da Termocoax e riportato in allegato 1.

7.1. Guaina esterna

E' realizzata a partire da tubi senza saldatura in Inconel 600 di diametro esterno 16.4mm e spessore 1.90mm. La certificazione delle caratteristiche meccaniche e chimiche dei tubi impiegati è contenuta nel Manufacturing Report (allegato 1), al quale si rimanda per ogni approfondimento.

L'estremità superiore della guaina è chiusa da un tappo in AISI 304 L, applicato per saldatura.

Le dimensioni nominali della guaina (deducibile dal disegno 303 262 riportato in allegato 1) sono:

$$\Phi_e = 9.50 \text{ mm}$$

$$s = 0.90 \text{ mm}$$

7.2. Caratteristiche elettriche

Le barre Thermocoax sono riscaldate per effetto Joule in maniera indiretta: un conduttore cilindrico in rame connesso con un tubo in rame, entrambi coassiali con la guaina esterna è percorso da corrente elettrica. Dal disegno 303 262 (allegato 1) si nota come il risalto 02, isolato dal resto della guaina con materiale ceramico, sia la parte terminale del circuito elettrico di ogni singola barra.

Il Manufacturing Report riporta le seguenti resistenze elettriche associate a ciascuna barra:

Codice barra	Resistenza rilevata da Thermocoax (Ω)	Resistenza rilevata da SIET (Ω)	Resistenza richiesta da specifica SIET (Ω)
A2RQ 01	0.537	0.530	0.584 (Normal Rod)
A2RQ 02	0.560	0.530	0.584 (Normal Rod)
A2RQ 03	0.526	0.520	0.487 (Hot Rod)
A2RQ 04	0.506	0.495	0.487 (Hot Rod)

Tabella 2 - Rilevazione caratteristiche elettriche

La specifica tecnica per la fornitura delle barre prevedeva due barre con resistenza di 0.584 Ω ("Normal Rod") e due barre con resistenza elettrica di 0.487 Ω .

I conduttori interni sono isolati dalla guaina in Inconel 600 con un isolante a base di ossido di magnesio la cui composizione chimica è la seguente:

Elemento / Sostanza	percentuale
MgO	99.72%
Al ₂ O ₃	0.02%
SiO ₂	0.04%
CaO	0.17%
Fe ₂ O ₃	0.03%
Carbonio	tracce
Zolfo	tracce
Boro	tracce
Cadmio	tracce

Tabella 3 - Composizione del materiale isolante

7.3. Posizione delle termocoppie

Le barre Thermocoax, codificate dal costruttore come segue:

- A2RQ01;
- A2RQ02;
- A2RQ03;
- A2RQ04,

sono dotate ognuna di quattro termocoppie. Per il loro montaggio è stata effettuata una cava nella guaina e successivamente le termocoppie sono state installate per brasatura. Le termocoppie sono state installate a differenti quote al fine di ottenere un profilo di temperatura lungo tutto lo sviluppo assiale delle barre.

La posizione delle termocoppie è rilevabile dalla tabella seguente.

TERMOCOPPIA	BARRA SCALDANTE	QUOTA ASSIALE (mm)
TC1_A	A2RQ 01	72
TC1_B	A2RQ 01	2475
TC1_C	A2RQ 01	5668
TC1_D	A2RQ 01	6533
TC2_A	A2RQ 02	72
TC2_B	A2RQ 02	3267
TC2_C	A2RQ 02	5268
TC2_D	A2RQ 02	6469
TC3_A	A2RQ 03	393
TC3_B	A2RQ 03	4670
TC3_C	A2RQ 03	6172
TC3_D	A2RQ 03	6472
TC4_A	A2RQ 04	498
TC4_B	A2RQ 04	3969
TC4_C	A2RQ 04	5870
TC4_D	A2RQ 04	6636

Tabella 4 - Posizioni assiali delle termocoppie di parete delle barre

8. VERIFICA DELLE CARATTERISTICHE DELLE BARRE SCALDANTI

Il disegno 303 262 dell'allegato 1 mostra una sezione generica delle quattro barre. Alla ricezione delle barre Thermocoax si è proceduto alla verifica delle seguenti caratteristiche meccaniche ed elettriche:

- resistenza elettrica;
- isolamento a freddo;
- diametro della barra e del risalto di connessione elettrica;
- isolamento termocoppie.

Le barre sono state dotate di targhe identificative con identificativi A2RQ01, A2RQ02, A2RQ03, A2RQ04 .

Le tabelle 5, 6, 7 e 8 mostrano i dati rilevati durante i controlli

Codice Barra	A2RQ01
Resistenza elettrica a freddo	0.5 Ω
Diametro risalto connessione elettrica	12.0 mm
Diametro allargamento	11.95 mm
Diametro barra (fondo)	9.4 mm
Diametro barra (punta)	9.4 mm
Isolamento termocoppie-guaina : misura della resistenza elettrica tra termocoppie e guaina	
TC A	39.0 Ω
TC B	717 k Ω

TC C	1.53 k Ω
TC D	1.77 k Ω

Tabella 5 - Dati di verifica Barra A2RQ01

Codice Barra	A2RQ02
Resistenza elettrica a freddo	0.5 Ω
Diametro risalto connessione elettrica	12.0 mm
Diametro allargamento	11.95 mm
Diametro barra (fondo)	9.4 mm
Diametro barra (punta)	9.4 mm
Isolamento termocoppie-guaina: misura della resistenza elettrica tra termocoppie e guaina	
TC A	39.2 Ω
TC B	896 k Ω
TC C	1.46 k Ω
TC D	1.73 k Ω

Tabella 6 - Dati di verifica Barra A2RQ02

Codice Barra	A2RQ03
Resistenza elettrica a freddo	0.5 Ω
Diametro risalto connessione elettrica	12.0 mm
Diametro allargamento	11.9 mm
Diametro barra (fondo)	9.4 mm
Diametro barra (punta)	9.4 mm
Isolamento termocoppie-guaina : misura della resistenza elettrica tra termocoppie e guaina	
TC A	123.0 Ω
TC B	1.27 k Ω
TC C	1.64 k Ω
TC D	1.76 k Ω

Tabella 7 - Dati di verifica Barra A2RQ03

Codice Barra	A2RQ04
Resistenza elettrica a freddo	0.5 Ω
Diametro risalto connessione elettrica	12.0 mm
Diametro allargamento	11.9 mm
Diametro barra (fondo)	9.4 mm
Diametro barra (punta)	9.4 mm
Isolamento termocoppie-guaina : misura della resistenza elettrica tra termocoppie e guaina	
TC A	154.0 Ω
TC B	1.1 k Ω
TC C	1.7 k Ω
TC D	1.8 k Ω

Tabella 8 - Dati di verifica Barra A2RQ04

9. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

L'attività sperimentale è stata finalizzata alla verifica sia delle caratteristiche meccaniche (deformazione, ovalizzazione, integrità strutturale, fessurazione della camicia esterna) ed elettriche (isolamento elettrico¹ e resistenza interna) degli elementi scaldanti e delle loro termocoppie di parete, sia della potenza generata e dell'uniformità assiale del flusso nella parte attiva.

Questa verifica è stata eseguita riproducendo le condizioni di esercizio a cui dovrebbero essere sottoposte le barre del canale di potenza durante i transitori previsti per l'attività sperimentale SPES-3.

L'attività è stata suddivisa nelle seguenti fasi operative:

- estrazione delle barre Rotfil precedentemente provate;
- assemblaggio del fascio di barre Thermocoax;
- inserimento del fascio Thermocoax nel canale di potenza;
- collaudo a freddo e a caldo dell'impianto e verifica delle sicurezze e dei loop di controllo;
- realizzazione dei transitori termoidraulici: riscaldamento da temperatura ambiente a condizioni operative, raggiungimento delle condizioni di regime (pressione, temperatura, potenza) , depressurizzazione, diminuzione di potenza, iniezione di liquido refrigerante e transitorio finale di depressurizzazione e raffreddamento.

¹ per verificare che la camicia delle barre non vada in tensione

10. ESTRAZIONE DEL FASCIO DI BARRE ROTFIL

Per il montaggio delle barre Thermocoax è stato necessario smontare le barre Rotfil, oggetto di una precedente campagna sperimentale. L'attività di smontaggio è stata condotta da personale SIET.

10.1. Condizione delle barre Rotfil

Durante lo smontaggio delle flangie inferiori del canale di potenza si è notata la presenza di ossido di Magnesio fuoriuscito da una barra, risultata poi gravemente danneggiata lungo una sua direttrice. Tramite la mappatura della posizione barre è stato possibile identificare questa barra come quella risultata in cortocircuito durante i test di prova. La Figura 2 mostra la tenuta idraulica del fascio imbrattata da ossido, la Figura 3 evidenzia la barra danneggiata.



Figura 2 - Fascio di barre Rotfil appena estratto



Figura 3 - Fascio di barre Rotfil
Barra lesionata e particolare dei conduttori interni

10.2. Condizione della tenuta idraulica

Durante l'estrazione del fascio di barre Rotfil sono stati eseguiti controlli sulle due guarnizioni che costituiscono la tenuta idraulica del fascio. Queste tenute, realizzate in Karlez® 7090, sono risultate parzialmente estruse, probabilmente a seguito della azione di inserimento del fascio nel canale, come evidenziato nella Figura 4.



Figura 4 - Estrusione del pacco tenuta superiore delle barre Rotfil

Le due tenute, una volta disassemblate, sono risultate parzialmente danneggiate in prossimità dei fori di passaggio delle singole barre come mostrato nelle Figura 5, Figura 6 e Figura 7.



Figura 5 - Pacchi di tenuta in Karlez® 7090 delle barre Rotfil
A destra il pacco inferiore, a sinistra il pacco superiore



Figura 6 - Pacco di tenuta inferiore di Karlez® 7090



Figura 7 - Pacco di Karlez® 7090 superiore

La tenuta idraulica durante i test eseguiti non ha mai dato problemi, per cui si può ritenere che il sistema a doppia guarnizione realizzato in Karlez® 7090 ha superato i test di verifica, nonostante risulti parzialmente danneggiato.

Le operazioni di estrazione del fascio di barre Rotfil hanno permesso di recuperare una parte di componenti meccanici utilizzati per il suo assemblaggio. In particolare sono state recuperate le griglie spaziatrici, le barre filettate e i distanziatori cilindrici.

11. ASSEMBLAGGIO DEL FASCIO DI BARRE THERMOCOAX

Le quattro barre Thermocoax sono state assemblate presso i laboratori SIET in Piacenza, utilizzando i componenti meccanici recuperati dallo smontaggio delle barre Rotfil.

Sono state escluse da questo recupero le due tenute idrauliche, in quanto il materiale recuperato non garantiva un sufficiente grado di affidabilità.

11.1. Tenuta idraulica

A causa di un problema di fornitura del materiale precedentemente utilizzato, Karlez® 7090, la tenuta idraulica è stata realizzata con dischi in Karlez® 4079.

Questa differenza, rispetto ai test effettuati in precedenza, ha permesso di verificare il funzionamento della tenuta idraulica realizzata con un materiale con caratteristiche diverse.

Le guarnizioni sono state ottenute per taglio a getto d'acqua a partire da due lastre di Karlez®4079 di 152.4x152.4x2.29 mm da cui si sono ottenuti diciassette singoli dischi come mostrato in Figura 8

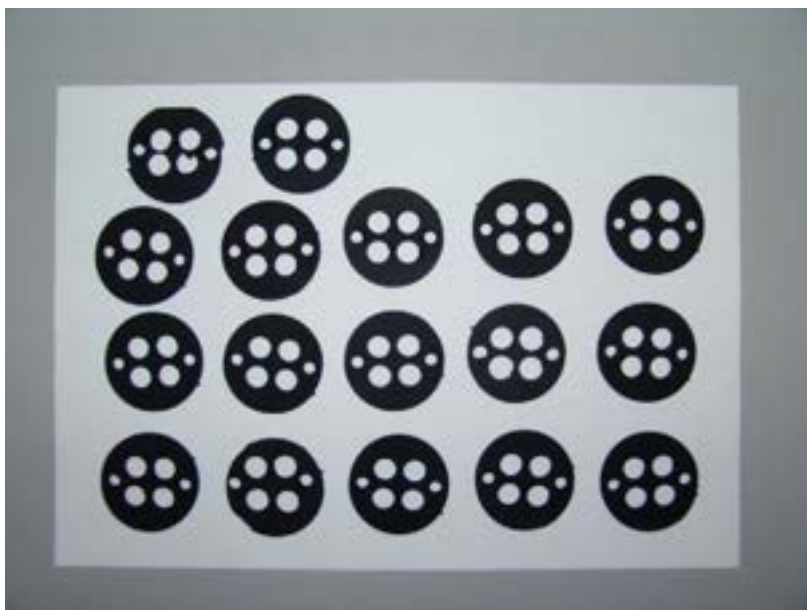


Figura 8 - Guarnizioni in Karlez®4079
Queste guarnizioni sono state ottenute con taglio a getto di acqua

La tenuta idraulica inferiore è stata realizzata assemblando cinque singoli elementi, mentre quella superiore è costituita da due dischi come mostrato nella Figura 9.



Figura 9 - Tenute in Karlez®4090

11.2. Flangia di supporto e alimentazione

Per effettuare la prova delle barre Thermocoax è stato necessario modificare la flangia di supporto inferiore per due motivi: la flangia è stata usata per l'alimentazione elettrica delle barre Rotfil ed è stato necessario isolarla dal resto dell'impianto con boccole e rondelle in teflon; inoltre la presenza dei terminali delle termocoppie ha reso necessario alesare il foro di ingresso della flangia per evitare che le termocoppie si rompessero durante la fase di assemblaggio del fascio. La Figura 10 e la Figura 11 mostrano i particolari delle barre nella zona inferiore, dove sono presenti i terminali delle termocoppie.



Figura 10 - Particolare delle termocoppie di parete delle barre



Figura 11 - Particolare della flangia di supporto e alimentazione delle barre

Si noti nell'immagine la presenza delle boccole di teflon nei fori perimetrali che ospiteranno i tiranti di fissaggio.

12. TEST SPERIMENTALI

I test sperimentali, ai quali sono state sottoposte le barre Thermocoax, comprendono sia le prove di collaudo del circuito idraulico (Shakedown test) sia le prove atte a riprodurre le sollecitazioni termoidrauliche tipiche dei transitori SPES-3: "standard test", "low power test" e "endurance and stress power test".

Gli "shakedown test" comprendono le verifiche del sistema di controllo delle macchine ausiliarie, dei regolatori di processo e degli attuatori di sicurezza, oltre alle verifiche delle connessioni elettriche terminali delle barre scaldanti.

Gli "standard test" sono prove caratterizzate da un transitorio di salita lenta in pressione, uno stazionario nelle condizioni nominali di pressione (155 bar) e temperatura (316°C) e un transitorio di depressurizzazione e raffreddamento. Queste prove riproducono le condizioni termoidrauliche dell'incidente più severo che deve essere simulato nell'impianto SPES 3.

I "low power test" sono prove finalizzate allo studio della possibile condizione di crisi termica a bassa pressione, caratteristica della fase conclusiva di alcuni transitori incidentali previsti per la prove dell'impianto SPES 3.

Gli "endurance and stress test" simulano sia la condizione di esercizio prolungato in condizioni nominali sia la condizione di crisi termica a bassa pressione. La prova consiste nel mantenere l'impianto alle condizioni nominali per un tempo variabile da 3600s a 7200s e nel provocare il surriscaldamento locale nel canale di potenza evidenziato dalle misure di temperatura di parete delle barre.

Lo schema di Figura 12 rappresenta la configurazione di esercizio nominale del circuito idraulico.

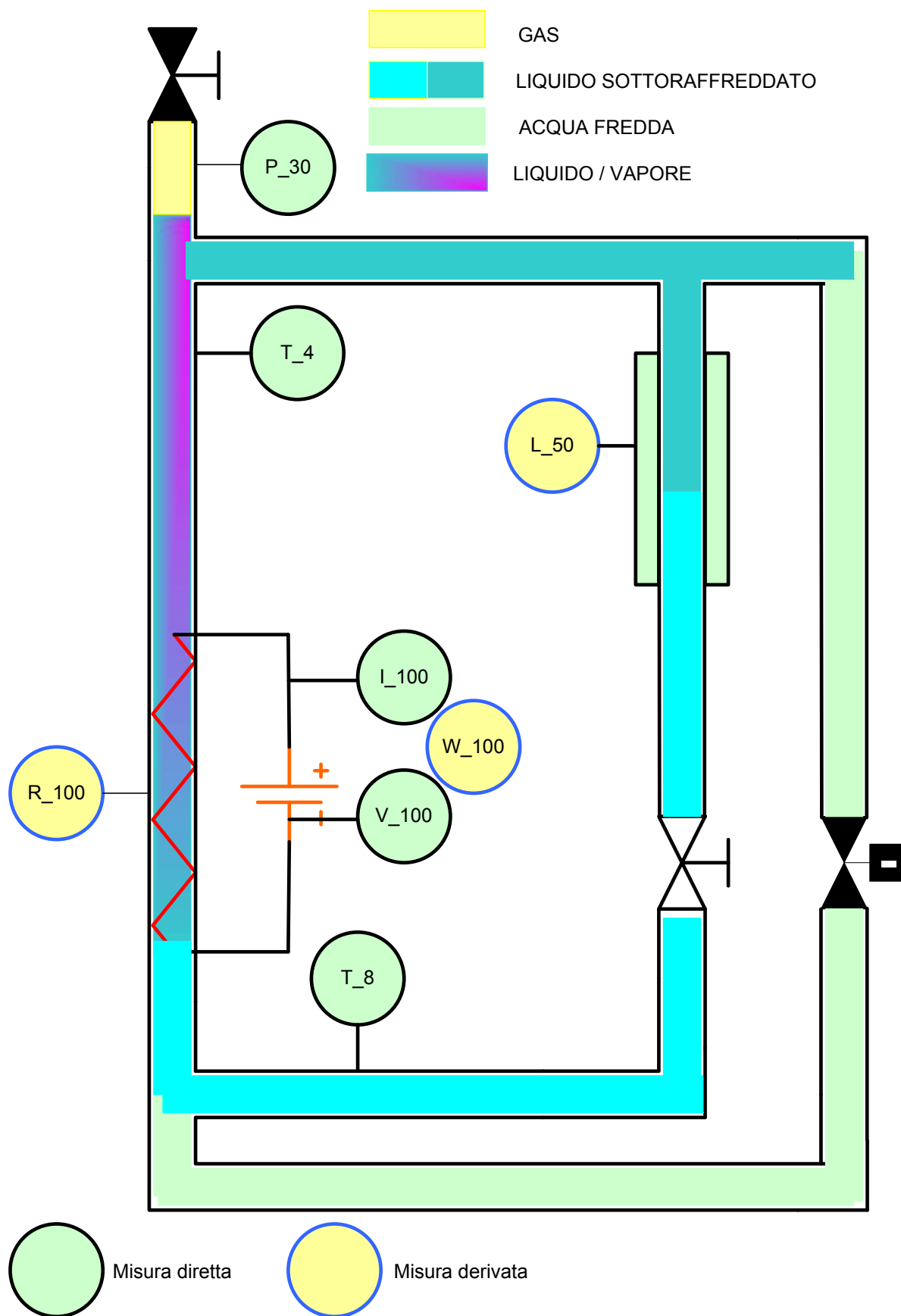


Figura 12 - Schema del circuito idraulico

Le grandezze fondamentali di controllo dell'impianto CPB, indicate nello schema precedente, sono riportate nella tabella seguente:

Pressione	P_30
Temperatura di ingresso canale di potenza	T_8
Temperatura di uscita canale di potenza	T_4
Livello esterno scambiatore di potenza	L_50
Corrente elettrica fornita alle barre del canale di potenza	I_100
Tensione elettrica sulle barre del canale di potenza	V_100
Resistenza elettrica del fascio di barre	R_100

Tabella 9 - Principali grandezze di controllo dell'impianto

La Tabella 10 riporta, invece, l'elenco delle grandezze dirette e derivate con le relative unità di misura, registrate dal Sistema di Acquisizione Dati (SAD).

ITEM	CODICE	descrizione	U.M.
1	time	tempo	s
2	T-1	Temperatura fondo canale	°C
3	T-2	Temperatura intermedia canale	°C
4	T-3	Temperatura fine zona core	°C
5	T-4	Temperatura uscita canale	°C
6	T-5	Temperatura acqua circuito primario valle scambiatore	°C
7	T-7	Temperatura acqua circuito primario	°C
8	T-8	Temperatura acqua ingresso canale	°C
9	T-30	Temperatura fondo pressurizzatore	°C
10	T-31	Temperatura quota intermedia pressurizzatore	°C
11	T-32	Temperatura duomo pressurizzatore	°C
12	T-6	Temperatura acqua circuito primario	°C
13	T-41	Temperatura superiore EBT	°C
14	T-42	Temperatura inferiore EBT	°C
15	T-50	Temperatura scambiatore principale lato secondario	°C
16	T-60	Temperatura scambiatore EBT lato secondario	°C
17	TW-200C	Temperatura flangia inferiore canale potenza	°C
18	T-ROOM	Temperatura ambiente	°C
19	TW-3A	Temperatura termocoppia A barra 3	°C
20	TW-3B	Temperatura termocoppia B barra 3	°C
21	TW-4A	Temperatura termocoppia A barra 4	°C
22	TW-4B	Temperatura termocoppia B barra 4	°C
23	TW-1C	Temperatura termocoppia C barra 1	°C
24	TW-2C	Temperatura termocoppia C barra 2	°C
25	TW-1D	Temperatura termocoppia D barra 1	°C
26	TW-2D	Temperatura termocoppia D barra 2	°C
27	TW-3C	Temperatura termocoppia C barra 3	°C
28	TW-3D	Temperatura termocoppia D barra 3	°C
29	TW-4C	Temperatura termocoppia C barra 4	°C
30	TW-4D	Temperatura termocoppia D barra 4	°C
31	TW-1A	Temperatura termocoppia A barra 1	°C

32	TW-1B	Temperatura termocoppia B barra 1	°C
33	TW-2A	Temperatura termocoppia A barra 2	°C
34	TW-2B	Temperatura termocoppia B barra 2	°C
35	I-100	Intensità di corrente elettrica per l'intero fascio di barre	A
36	V-100	Tensione applicata all'intero fascio di barre	V
37	V-101	tensione elettrica canale /massa	V
38	Z-40O	Flag (positivo con valvola EBT aperta, altrimenti pari a 0)	-
39	Z-40C	Flag (positivo con valvola EBT chiusa, altrimenti pari a 0)	-
40	P-1	Pressione rilevata al fondo RPV	MPa
41	P-30	Pressione rilevata in cima al pressurizzatore	MPa
42	DP-1	Pressione differenziale canale di potenza	kPa
43	DP-3	Pressione differenziale tratto ascendente superiore	kPa
44	DP-4	Pressione differenziale tratto orizzontale superiore	kPa
45	DP-5	Pressione differenziale zona scambiatore	kPa
46	DP-6	Pressione differenziale tratto discendente valle scambiatore	kPa
47	DP-7	Pressione differenziale tratto discendente valle scambiatore	kPa
48	DP-30	Pressione differenziale pressurizzatore	kPa
49	DP-31	Pressione differenziale pressurizzatore tratto inferiore	kPa
50	DP-32	Pressione differenziale pressurizzatore tratto superiore	kPa
51	DP-20	Pressione differenziale venturimetro	kPa
52	DP-40	Pressione differenziale tratto EBT	kPa
53	DP-41	Pressione differenziale tratto EBT	kPa
54	DP-51	Pressione differenziale scambiatore lato secondario	kPa
55	DP-50	Pressione differenziale scambiatore lato secondario	kPa
56	L_030	Livello di liquido nel pressurizzatore	m
57	L_40	Livello di liquido scambiatore EBT	m
58	W_100	Potenza elettrica canale di potenza	kW
59	R_100	Resistenza elettrica del canale di potenza	mΩ
60	T_S_CHN	Temperatura di saturazione acqua alla pressione del circuito	°C
61	T_S_PRZ	Temperatura di saturazione alla pressione del pressurizzatore	°C
62	T_PRZ	Temperatura media pressurizzatore	°C
63	DT_IO	T4-T8	°C
64	h_in	Entalpia acqua al bottom RPV	kJ/kg
65	h_out	Entalpia acqua al Top RPV	kJ/kg
66	Dh	Salto entalpico uscita/ingresso canale	kJ/kg
67	F	Portata calcolata da bilancio entalpico	kg/s
68	L_50	Livello di acqua nello scambiatore principale	m

Tabella 10 - Elenco delle grandezze registrate nei file dal SAD

12.1. MODALITÀ OPERATIVE

Nel presente paragrafo sono descritte le fasi delle procedure operative utilizzate per l'esecuzione delle prove: "standard test", "low power test" e "endurance and stress test".

La realizzazione dei test citati richiede preliminarmente il riempimento di tutto il circuito idraulico e delle linee manometriche della strumentazione idraulica con acqua fredda.

Standard Test

La procedura operativa, con la quale sono state realizzate queste prove, prevede le seguenti fasi:

- 1) parziale svuotamento del pressurizzatore con formazione di duomo di aria;
- 2) pressurizzazione iniziale con gas iniettato nel duomo del pressurizzatore;
- 3) riscaldamento del liquido per effetto Joule mediante erogazione di corrente elettrica alle barre del canale di potenza;
- 4) raggiungimento delle condizioni operative nominali di pressione e temperatura mediante controllo di livello al secondario (mantello esterno) dello scambiatore principale;
- 5) stabilizzazione alle condizioni nominali;
- 6) apertura parziale della valvola di scarico gas del pressurizzatore (depressurizzazione);
- 7) riduzione di potenza elettrica erogata alle barre del canale;
- 8) iniezione di acqua fredda mediante apertura della valvola ON/OFF della linea di raffreddamento (simulazione dell'intervento EBT);
- 9) transitorio finale di depressurizzazione e raffreddamento.

Low Power Test

Questo test si esegue con l'impianto pieno di acqua in condizioni sottoraffreddate e alimentando le barre al 7 % del valore nominale di potenza. La prova consiste nel provocare il surriscaldamento locale nel canale di potenza, evidenziato dalle misure di temperatura di parete delle barre scaldanti. La prova termina al raggiungimento del valore massimo di temperatura regolato tra 600°C e 700°C.

Endurance end stress test

Questa prova è suddivisa in tre distinte fasi:

- 1) transitorio di salita lenta in pressione: l'impianto pieno di acqua a temperatura ambiente e a pressione atmosferica viene portato alle condizioni di funzionamento nominale. Le barre sono elettricamente alimentate fino a raggiungere gradualmente la massima potenza (121,0kW).
- 2) Endurance test: l'impianto viene mantenuto alle condizioni nominali di 155 bar e 316 °C all'uscita del canale di potenza per un tempo variabile da 3600s a 7200s.
- 3) Stress test: dopo la fase di stazionario viene aperta la valvola di sfiato sulla sommità del pressurizzatore e si lascia che la pressione dell'impianto scenda sino alla pressione atmosferica. Alla pressione di 147 bar il regolatore elettronico riduce la potenza elettrica di alimentazione delle barre al 7% della potenza nominale di esercizio al fine di provocare un surriscaldamento locale nel canale di potenza. La prova termina al raggiungimento del valore massimo di temperatura regolato tra 600°C e 700°C.

Anche in questa prova si cerca di realizzare nell'ultima fase una condizione di crisi termica, partendo da una condizione di funzionamento a condizioni nominali.

13. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Durante l'esecuzione dei test sono stati registrati su file (EXCEL) i valori delle grandezze acquisite come mostrato in Tabella 10. Ciascun file è individuato con una sigla identificativa costituita da : anno, mese e giorno, separati dal trattino e dall'ora e minuti, per esempio : 2012-03-14_10.23.xls.

#	Descrizione test	File acquisiti
1	shake down test	2012-03-14_10.23.xls
2	shake down test	2012-03-14_14.58.xls
3	standard test	2012-03-16_11.07.xls
4	standard test	2012-03-20_9.54.xls
5	standard test	2012-03-21_10.12.xls
6	standard test	2012-03-21_14.32.xls
7	standard test	2012-03-22_9.37.xls
8	standard test	2012-03-22_13.27.xls
9	standard test	2012-03-23_10.25.xls
10	standard test	2012-03-23_14.20.xls
11	standard test	2012-03-26_10.24.xls
12	standard test	2012-03-26_14.00.xls
13	standard test	2012-03-27_9.54.xls
14	standard test	2012-03-27_11.54.xls
15	standard test	2012-03-27_13.54.xls
16	standard test	2012-03-28_9.43.xls
17	standard test	2012-03-28_12.28.xls
18	standard test	2012-03-28_13.59.xls
19	standard test	2012-03-29_10.19.xls
20	standard test	2012-03-29_12.39.xls
21	standard test	2012-03-30_9.19.xls
22	standard test	2012-03-30_13.15.xls
23	standard test	2012-04-02_10.00.xls
24	standard test	2012-04-02_12.44.xls
25	standard test	2012-04-03_9.00.xls
26	standard test	2012-04-03_11.23.xls
27	standard test	2012-04-03_14.10.xls
28	standard test	2012-04-04_8.53.xls

#	Descrizione test	File acquisiti
29	standard test	2012-04-04_11.12.xls
30	standard test	2012-04-04_14.51.xls
31	low power test	2012-04-05_9.49.xls
32	low power test	2012-04-05_13.57.xls
33	low power test	2012-04-06_9.26.xls
34	low power test	2012-04-06_14.06.xls
35	endurance and stress test	2012-04-12_9.04.xls
36	endurance and stress test	2012-04-13_8.46.xls

Tabella 11 - Elenco dei test eseguiti

Nei paragrafi seguenti per ciascuna prova sono presentate in formato grafico le seguenti misure:

- potenza elettrica al canale (W_100);
- pressione nel circuito idraulico (P_30);
- pressione differenziale canale di potenza (DP-1);
- pressione differenziale nel tratto ascendente del circuito (DP-3);
- livello di liquido nel pressurizzatore (L_30);
- livello di liquido nello scambiatore principale (L_50);
- temperatura di ingresso al canale di potenza (T8);
- temperatura di uscita dal canale di potenza (T4);
- portata massica di circolazione naturale (F);
- temperature di parete delle barre scaldanti (TWxx);

Per le prove di tipo “standard test” e “endurance and stress test”, nelle quali si raggiungono le condizioni nominali di pressione e temperatura, sono riportate in formato numerico anche le principali condizioni termoidrauliche nei sessanta secondi precedenti il transitorio di depressurizzazione e raffreddamento.

13.1. Shakedown test

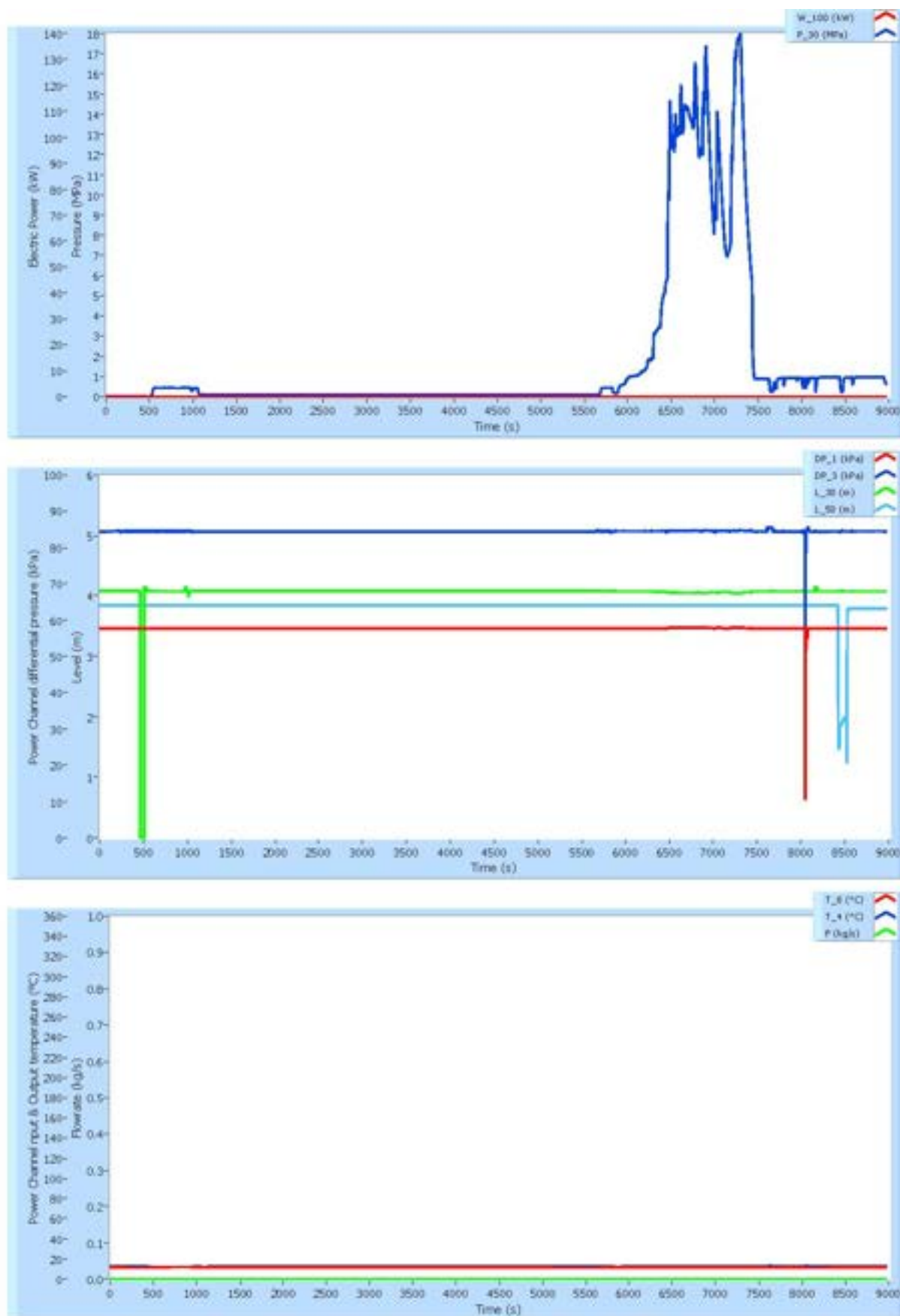
Gli shake down test sono prove preliminari eseguite sul circuito prove barre con lo scopo principale di verificare il corretto funzionamento dell'impianto (sistema di controllo delle macchine ausiliarie, dei regolatori di processo e degli attuatori di sicurezza) e delle barre scaldanti.

L'elenco delle prove eseguite in fase preliminare è riportato in Tabella 12.

In Tabella 12 sono riportati, invece, dettagli e commenti sulle prove eseguite, oltre ai riferimenti dei grafici relativi.

#	Figure di riferimento	Commenti sul test
1	Figure 13 e 14	Prova di apertura della valvola di sicurezza
2	Figure 15 e 16	Prova di vari allarmi e rottura termocoppie TW_1C e TW_4B

Tabella 12 - Dettagli sugli shakedown test



Test 2012-03-14_10.23 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 13 - Test 1 : Principali grandezze termoidrauliche

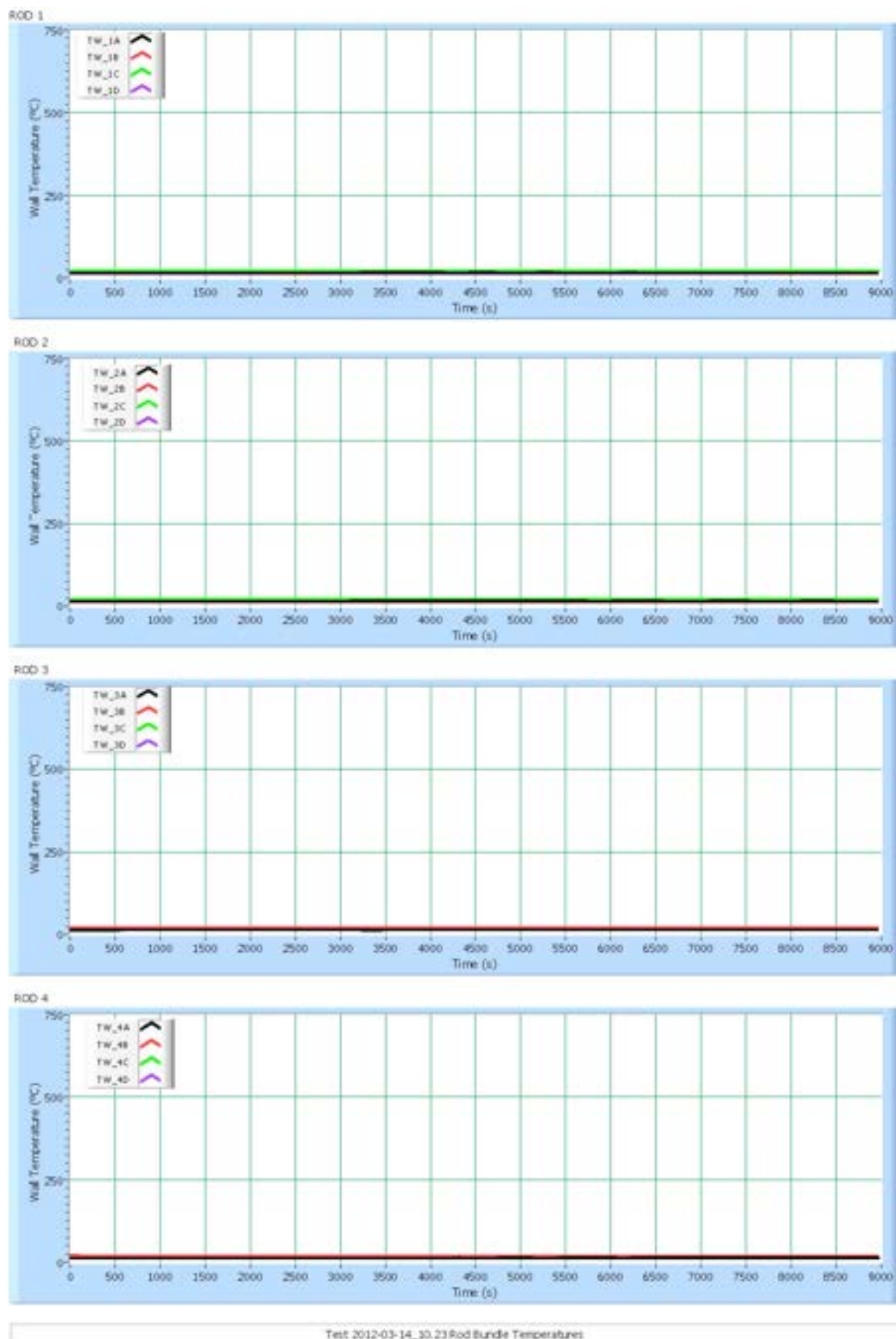


Figura 14 - Test 1 : temperature di parete delle barre scaldanti

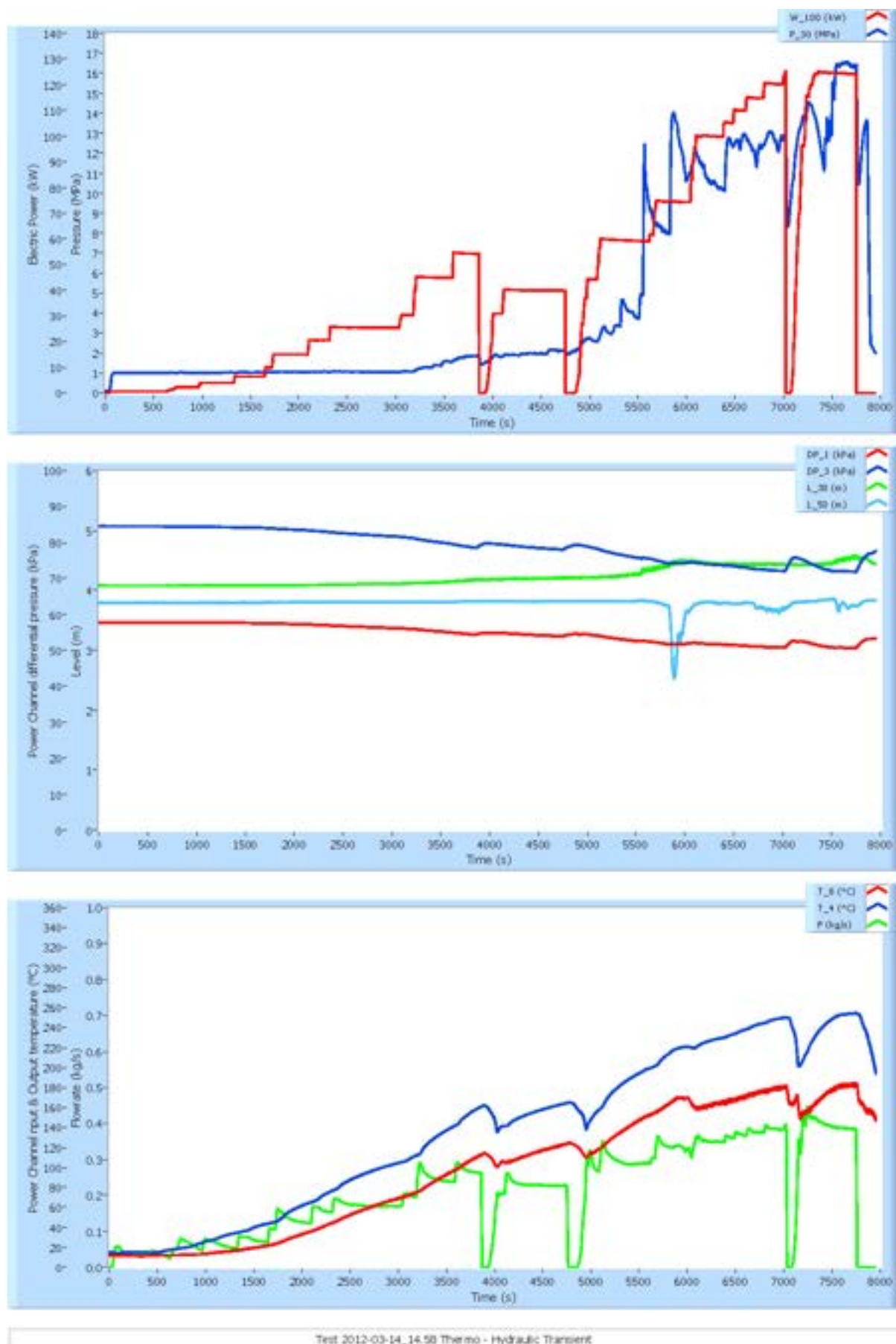


Figura 15 - Test 2 : Principali grandezze termoidrauliche

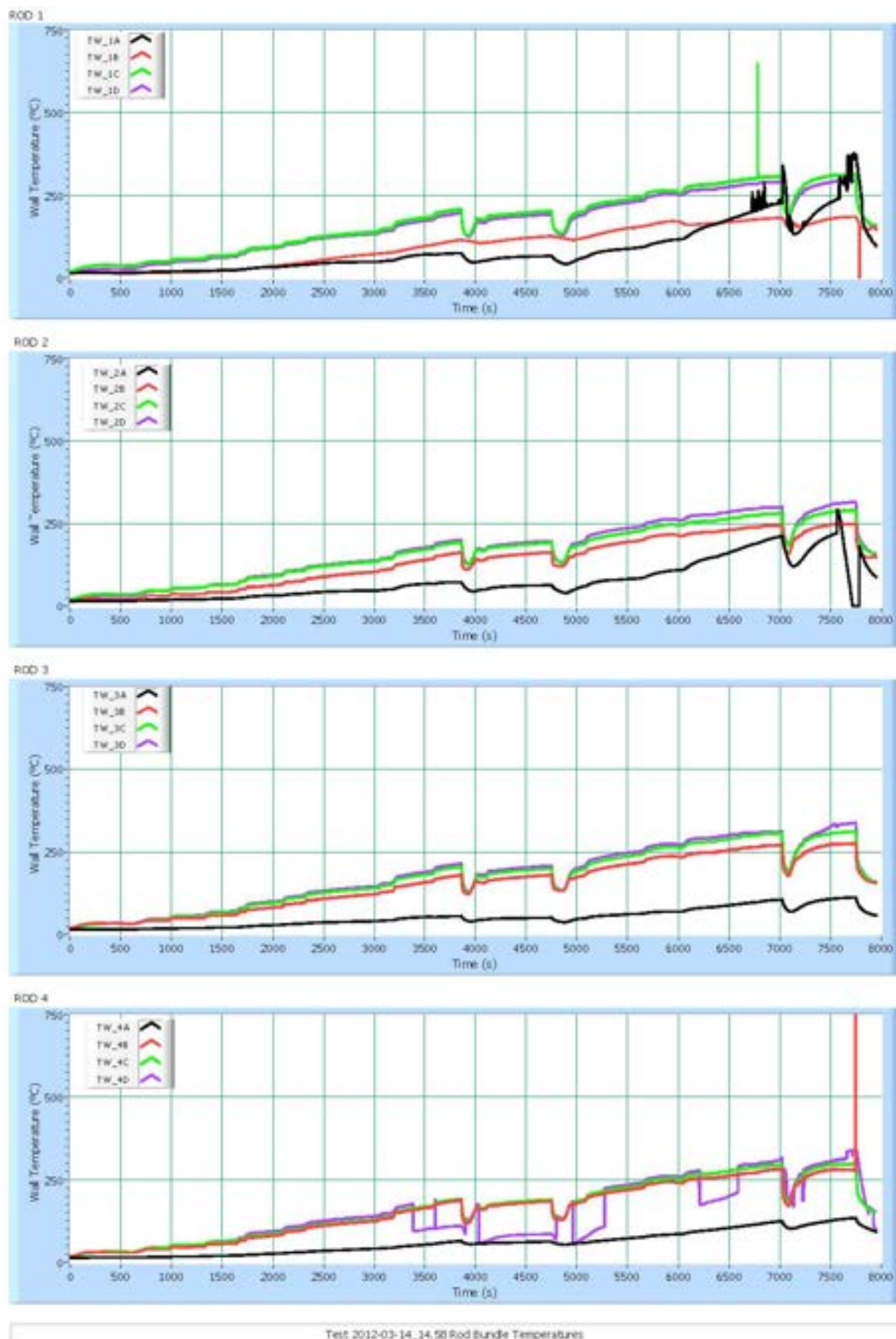


Figura 16 - Test 2 : Temperature di parete delle barre scaldanti

13.2. Standard test

Come già detto, gli standard test sono prove caratterizzate da un transitorio di salita lenta in pressione, uno stazionario nelle condizioni nominali di pressione (155 bar) e temperatura (316 °C) e un transitorio di depressurizzazione e raffreddamento. L'elenco dei test è riportato in Tabella 11. Per le principali fasi operative si rimanda al paragrafo 12.1, in cui è descritta la procedura operativa. Dalla Tabella 13 alla Tabella 40 sono riportate le informazioni in formato numerico, relative alle condizioni termoidrauliche principali nei sessanta secondi precedenti il transitorio di pressione e temperatura.

Nella Tabella 41 sono riportate le informazioni più significative relative alle prove effettuate.

Test n°	3			
File	2012-03-16_11.07.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	A causa del malfunzionamento di varie termocoppie non sono stati effettuati trip	
W_100	kW	121.494		
T4	°C	316		
T8	°C	278		
F_20	kg/s	0.54		
L_50	m	3.95		
R_100	mΩ	132.77		

Tabella 13 - Test n 3 : valori nominali prima del trip

Test n°	4			
File	2012-03-20_9.54.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.68	1.15
W_100	kW	121.494	95.27	-21.58
T4	°C	316	318.78	0.88
T8	°C	278	270.44	-2.72
F_20	kg/s	0.54	0.38	-30.02
L_50	m	3.95	1.42	-64.10
R_100	mΩ	132.77	145.26	9.41

Tabella 14 - Test n 4 : valori nominali prima del trip

Test n°	5			
File	2012-03-21_10.12.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.38	-0.77
W_100	kW	121.494	121.6084	0.09
T4	°C	316	317.15	0.36
T8	°C	278	262.167	-5.70
F_20	kg/s	0.54	0.436	-19.26
L_50	m	3.95	1.85	-53.16
R_100	mΩ	132.77	146.26	10.16

Tabella 15 - Test n 5 : valori nominali prima del trip

Test n°	6			
File	2012-03-21_14.32.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.47	-0.19
W_100	kW	121.494	121.35	-0.12
T4	°C	316	316.60	0.19
T8	°C	278	260.29	-6.37
F_20	kg/s	0.54	0.42	-23.11
L_50	m	3.95	1.75	-55.74
R_100	mΩ	132.77	146.09	10.03

Tabella 16 - Test n 6 : valori nominali prima del trip

Test n°	7			
File	2012-03-22_9.37.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.80	1.92
W_100	kW	121.494	120.23	-1.04
T4	°C	316	334.93	5.99
T8	°C	278	284.87	2.47
F_20	kg/s	0.54	0.41	-23.57
L_50	m	3.95	1.38	-64.98
R_100	mΩ	132.77	146.86	10.61

Tabella 17 - Test n 7 : valori nominali prima del trip

Test n°	8			
File	2012-03-22_13.27.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	14.82	-4.41
W_100	kW	121.494	121.43	-0.05
T4	°C	316	333.50	5.54
T8	°C	278	283.72	2.06
F_20	kg/s	0.54	0.41	-23.33
L_50	m	3.95	1.49	-62.30
R_100	mΩ	132.77	146.62	10.43

Tabella 18 - Test n 8 : valori nominali prima del trip

Test n°	9			
File	2012-03-23_10.25.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	14.84	-4.28
W_100	kW	121.494	121.50	0.01
T4	°C	316	331.53	4.91
T8	°C	278	280.95	1.06
F_20	kg/s	0.54	0.42	-22.24
L_50	m	3.95	1.59	-59.83
R_100	mΩ	132.77	147.10	10.79

Tabella 19 - Test n 9 : valori nominali prima del trip

Test n°	10			
File	2012-03-23_14.20.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	14.84	-4.25
W_100	kW	121.494	121.44	-0.04
T4	°C	316	331.95	5.05
T8	°C	278	284.77	2.44
F_20	kg/s	0.54	0.43	-21.29
L_50	m	3.95	1.32	-66.60
R_100	mΩ	132.77	146.90	10.64

Tabella 20 - Test n 10 : valori nominali prima del trip

Test n°	11			
File	2012-03-26_10.24.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.69	1.21
W_100	kW	121.494	121.10	-0.32
T4	°C	316	334.78	5.94
T8	°C	278	284.02	2.17
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.99
L_50	m	3.95	1.31	-66.75
R_100	mΩ	132.77	146.81	10.58

Tabella 21 - Test n 11 : valori nominali prima del trip

Test n°	12			
File	2012-03-26_14.00.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.24	-1.71
W_100	kW	121.494	121.24	-0.21
T4	°C	316	338.61	7.16
T8	°C	278	291.42	4.83
F_20	kg/s	0.54	0.40	-26.10
L_50	m	3.95	1.33	-66.29
R_100	mΩ	132.77	146.55	10.38

Tabella 22 - Test n 12 : valori nominali prima del trip

Test n°	13			
File	2012-03-27_9.54.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.36	-0.89
W_100	kW	121.494	121.02	-0.39
T4	°C	316	341.35	8.02
T8	°C	278	296.73	6.74
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.70
L_50	m	3.95	1.45	-63.17
R_100	mΩ	132.77	147.03	10.74

Tabella 23 - Test n 13 : valori nominali prima del trip

Test n°	14			
File	2012-03-27_11.54.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.51	0.08
W_100	kW	121.494	121.13	-0.30
T4	°C	316	332.01	5.07
T8	°C	278	280.93	1.05
F_20	kg/s	0.54	0.40	-26.28
L_50	m	3.95	1.86	-52.81
R_100	mΩ	132.77	146.88	10.63

Tabella 24 - Test n 14 : valori nominali prima del trip

Test n°	15			
File	2012-03-27_13.54.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.63	0.82
W_100	kW	121.494	121.39	-0.08
T4	°C	316	336.65	6.53
T8	°C	278	286.78	3.16
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.72
L_50	m	3.95	2.94	-25.47
R_100	mΩ	132.77	146.91	10.65

Tabella 25 - Test n 15 : valori nominali prima del trip

Test n°	16			
File	2012-03-28_9.43.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.68	1.19
W_100	kW	121.494	120.91	-0.48
T4	°C	316	330.93	4.72
T8	°C	278	279.64	0.59
F_20	kg/s	0.54	0.39	-27.73
L_50	m	3.95	1.34	-66.15
R_100	mΩ	132.77	146.89	10.64

Tabella 26 - Test n 16 : valori nominali prima del trip

Test n°	17			
File	2012-03-28_12.28.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.45	-0.32
W_100	kW	121.494	120.82	-0.55
T4	°C	316	336.57	6.51
T8	°C	278	287.15	3.29
F_20	kg/s	0.54	0.40	-26.05
L_50	m	3.95	1.33	-66.30
R_100	mΩ	132.77	146.84	10.60

Tabella 27 - Test n 17 : valori nominali prima del trip

Test n°	18			
File	2012-03-28_13.59.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.50	0.02
W_100	kW	121.494	121.30	-0.16
T4	°C	316	334.83	5.96
T8	°C	278	285.83	2.82
F_20	kg/s	0.54	0.40	-25.84
L_50	m	3.95	1.43	-63.72
R_100	mΩ	132.77	146.98	10.70

Tabella 28 - Test n 18 : valori nominali prima del trip

Test n°	19			
File	2012-03-29_10.19.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	14.97	-3.41
W_100	kW	121.494	121.21	-0.24
T4	°C	316	341.01	7.91
T8	°C	278	305.29	9.82
F_20	kg/s	0.54	0.43	-20.23
L_50	m	3.95	2.92	-26.08
R_100	mΩ	132.77	147.21	10.87

Tabella 29 - Test n 19 : valori nominali prima del trip

Test n°	20			
File	2012-03-29_12.39.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	14.84	-4.26
W_100	kW	121.494	121.27	-0.18
T4	°C	316	337.52	6.81
T8	°C	278	294.16	5.81
F_20	kg/s	0.54	0.42	-21.99
L_50	m	3.95	3.00	-24.02
R_100	mΩ	132.77	146.88	10.63

Tabella 30 - Test n 20 : valori nominali prima del trip

Test n°	21			
File	2012-03-30_9.19.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.97	3.01
W_100	kW	121.494	120.82	-0.56
T4	°C	316	330.52	4.59
T8	°C	278	279.46	0.52
F_20	kg/s	0.54	0.39	-27.22
L_50	m	3.95	1.55	-60.88
R_100	mΩ	132.77	147.52	11.11

Tabella 31 - Test n 21 : valori nominali prima del trip

Test n°	22			
File	2012-03-30_13.15.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.53	0.19
W_100	kW	121.494	121.40	-0.08
T4	°C	316	331.57	4.93
T8	°C	278	280.92	1.05
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.51
L_50	m	3.95	2.27	-42.65
R_100	mΩ	132.77	147.46	11.06

Tabella 32 - Test n 22 : valori nominali prima del trip

Test n°	23			
File	2012-04-02_10.00.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	16.01	3.28
W_100	kW	121.494	121.86	0.30
T4	°C	316	338.99	7.28
T8	°C	278	291.35	4.80
F_20	kg/s	0.54	0.38	-30.45
L_50	m	3.95	2.02	-48.90
R_100	mΩ	132.77	147.55	11.13

Tabella 33 - Test n 23 : valori nominali prima del trip

Test n°	24			
File	2012-04-02_12.44.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.21	-1.89
W_100	kW	121.494	120.80	-0.57
T4	°C	316	340.55	7.77
T8	°C	278	301.48	8.44
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.97
L_50	m	3.95	2.60	-34.25
R_100	mΩ	132.77	147.43	11.04

Tabella 34 - Test n 24 : valori nominali prima del trip

Test n°	25			
File	2012-04-03_9.00.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	13.46	-13.16
W_100	kW	121.494	120.91	-0.48
T4	°C	316	330.08	4.46
T8	°C	278	280.85	1.03
F_20	kg/s	0.54	0.38	-30.43
L_50	m	3.95	1.94	-50.88
R_100	mΩ	132.77	146.79	10.56

Tabella 35 - Test n 25 : valori nominali prima del trip

Test n°	26			
File	2012-04-03_11.23.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.65	0.97
W_100	kW	121.494	120.49	-0.83
T4	°C	316	339.10	7.31
T8	°C	278	293.14	5.45
F_20	kg/s	0.54	0.37	-31.97
L_50	m	3.95	3.02	-23.61
R_100	mΩ	132.77	147.45	11.06

Tabella 36 - Test n 26 : valori nominali prima del trip

Test n°	27			
File	2012-04-03_14.10.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.71	1.34
W_100	kW	121.494	119.45	-1.68
T4	°C	316	331.38	4.87
T8	°C	278	285.03	2.53
F_20	kg/s	0.54	0.35	-35.98
L_50	m	3.95	4.02	1.84
R_100	mΩ	132.77	146.61	10.42

Tabella 37 - Test n 27 : valori nominali prima del trip

Test n°	28			
File	2012-04-04_8.53.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.07	-2.78
W_100	kW	121.494	121.08	-0.34
T4	°C	316	332.46	5.21
T8	°C	278	283.45	1.96
F_20	kg/s	0.54	0.37	-31.71
L_50	m	3.95	1.76	-55.49
R_100	mΩ	132.77	147.15	10.83

Tabella 38 - Test n 28 : valori nominali prima del trip

Test n°	29			
File	2012-04-04_11.12.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.62	0.77
W_100	kW	121.494	119.61	-1.55
T4	°C	316	334.08	5.72
T8	°C	278	290.34	4.44
F_20	kg/s	0.54	0.33	-39.40
L_50	m	3.95	1.98	-50.00
R_100	mΩ	132.77	147.17	10.84

Tabella 39 - Test n 29 : valori nominali prima del trip

Test n°	30			
File	2012-04-04_14.51.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.27	-1.47
W_100	kW	121.494	120.26	-1.02
T4	°C	316	329.20	4.18
T8	°C	278	284.43	2.31
F_20	kg/s	0.54	0.38	-28.85
L_50	m	3.95	1.87	-52.61
R_100	mΩ	132.77	146.97	10.70

Tabella 40 - Test n 30 : valori nominali prima del trip

#	Figure di riferimento	Commenti sui test
3	Figure 17 e 18	Malfunzionamento termocoppie TW_1B, TW_2A, TW_3A, TW_3B; termocoppia TW_4B isolata; nessun trip eseguito
4	Figure 19 e 20	Malfunzionamento termocoppie TW_1B;termocoppie TW_2A e TW_3B rotte; termocoppie TW_3A e TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
5	Figure 21 e 22	MalfunzionamentotermocoppieTW_1B;termocoppie TW_2A,TW_3A,TW_3B,TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
6	Figure 23 e 24	termocoppie TW_1B,TW_2A,TW_3A,TW_3B,TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
7	Figure 25 e 26	termocoppie TW_1B,TW_2A,TW_3A,TW_3B,TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
8	Figure 27 e 28	termocoppia TW_1C rotta; termocoppie TW_1B,TW_2A,TW_3A,TW_3B,TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
9	Figure 29 e 30	termocoppie TW_1C e TW_4C rotte (hanno provocato una interruzione di alimentazione elettrica); termocoppie TW_1B,TW_2A,TW_3A,TW_3B,TW_4B isolate; test eseguito secondo procedura
10	Figure 31 e 32	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
11	Figure 33 e 34	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B,

		TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
12	Figure 35 e 36	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
13	Figure 37 e 38	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
14	Figure 39 e 40	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
15	Figure 41 e 42	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
16	Figure 43 e 44	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
17	Figure 45 e 46	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
18	Figure 47 e 48	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
19	Figure 49 e 50	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
20	Figure 51 e 52	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
21	Figure 53 e 54	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; test eseguito secondo procedura
22	Figure 55 e 56	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B,TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura

23	Figure 57 e 58	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
24	Figure 59 e 60	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
25	Figure 61 e 62	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
26	Figure 63 e 64	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
27	Figure 65 e 66	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
28	Figure 67 e 68	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
29	Figure 69 e 70	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
30	Figure 71 e 72	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura

Tabella 41 - Dettagli sugli "standard test"

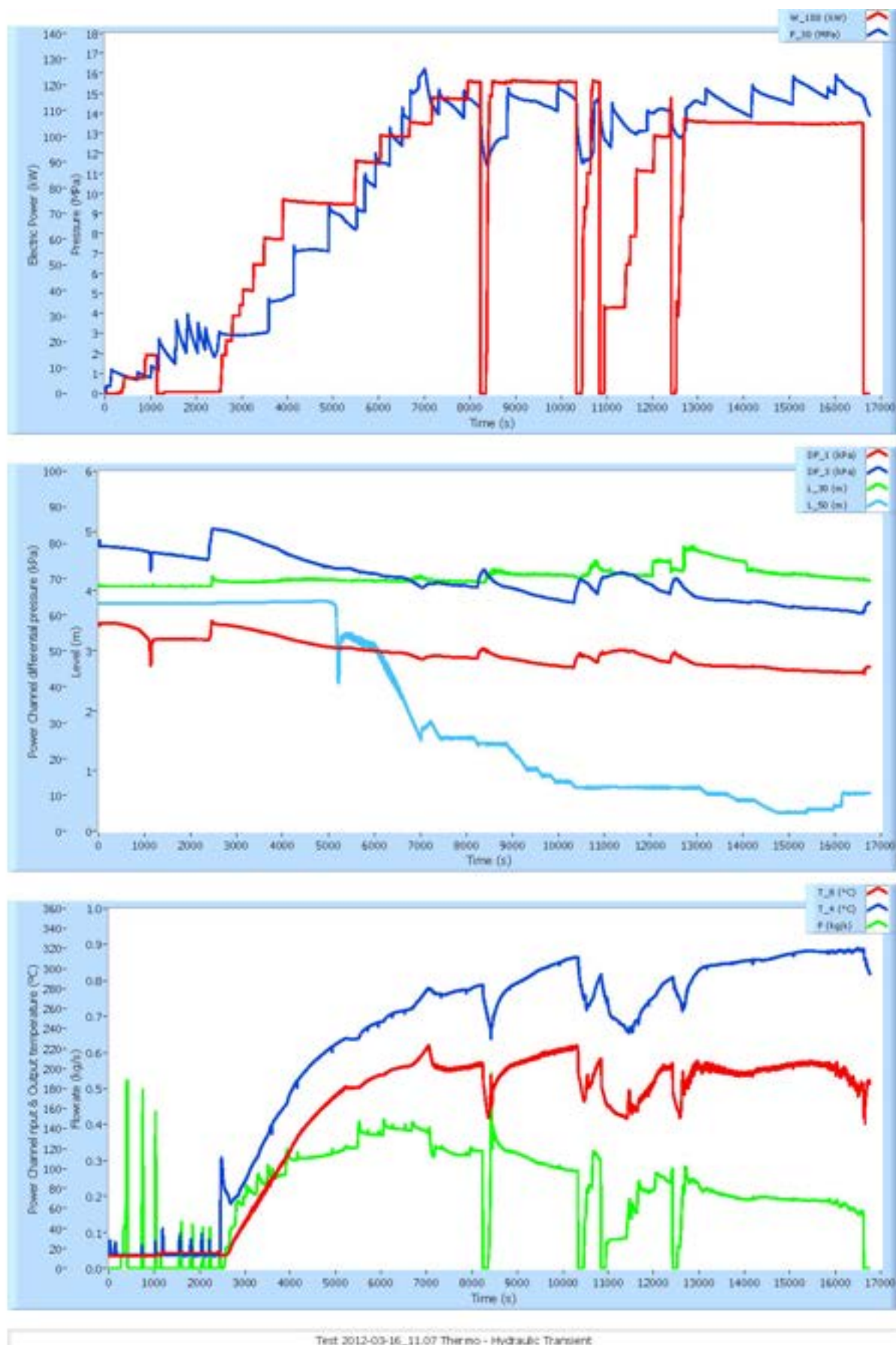


Figura 17 - Test 3 : Principali grandezze termoidrauliche

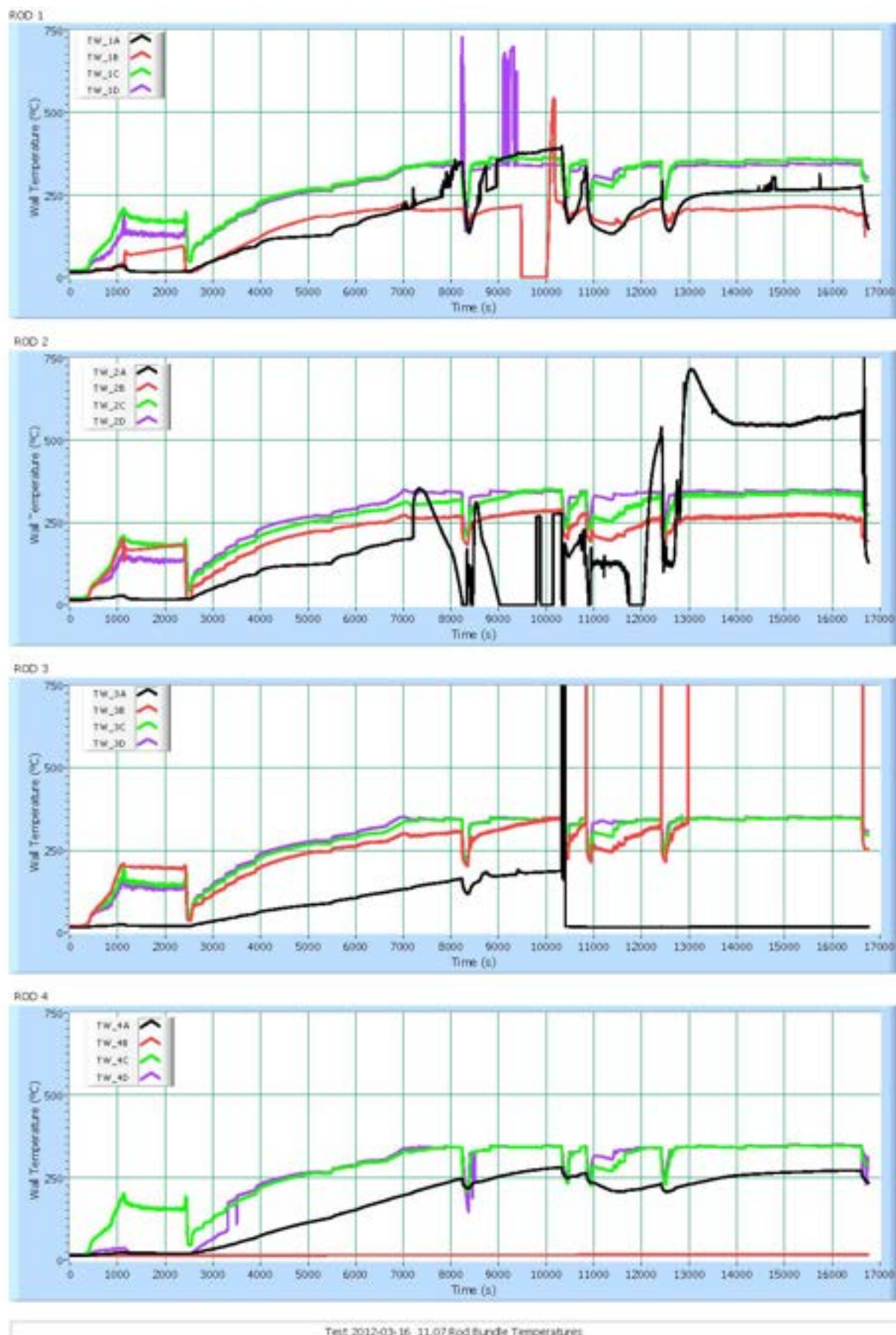
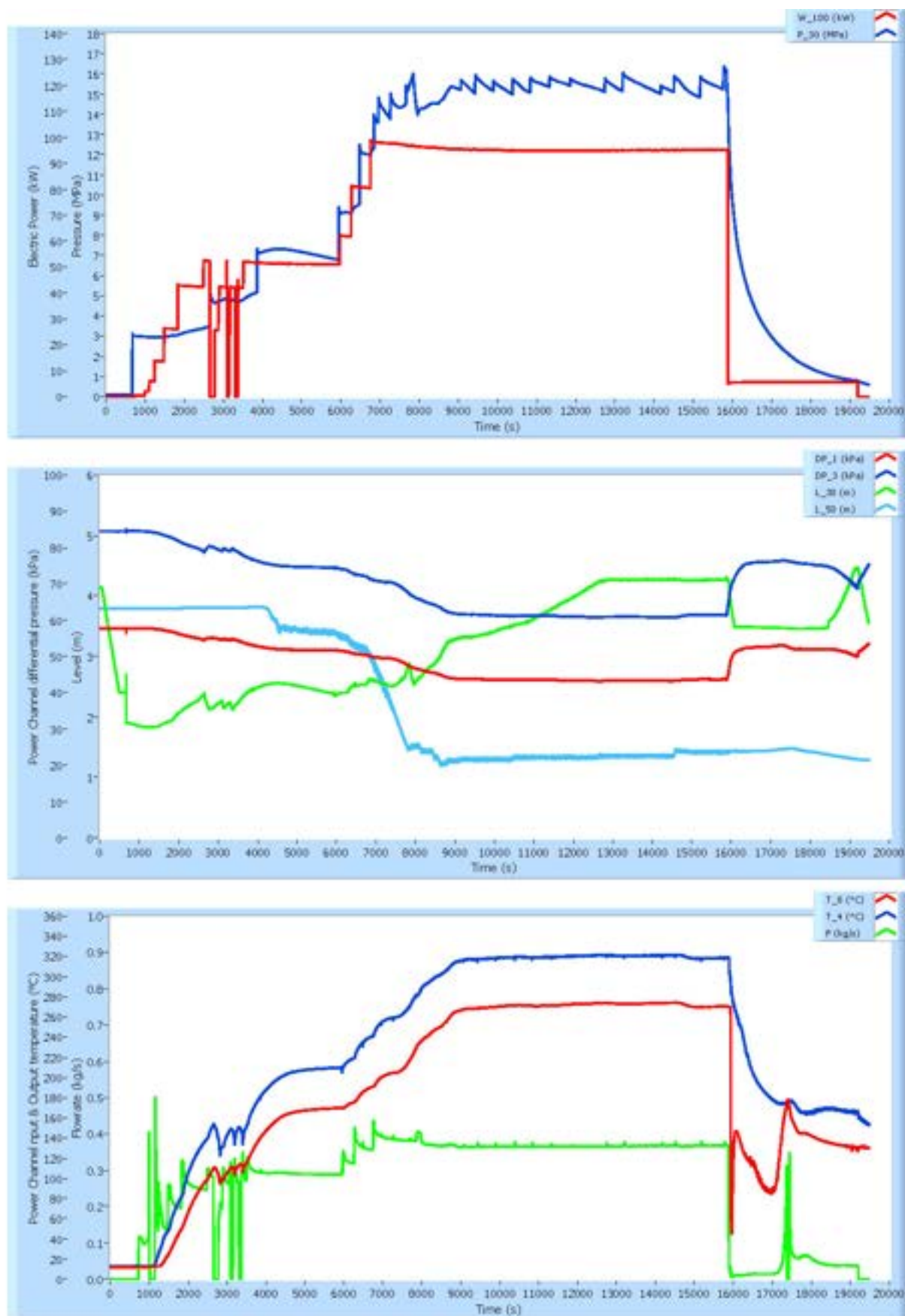


Figura 18 - Test 3 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-20_9.54 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 19 - Test 4 : Principali grandezze termoidrauliche

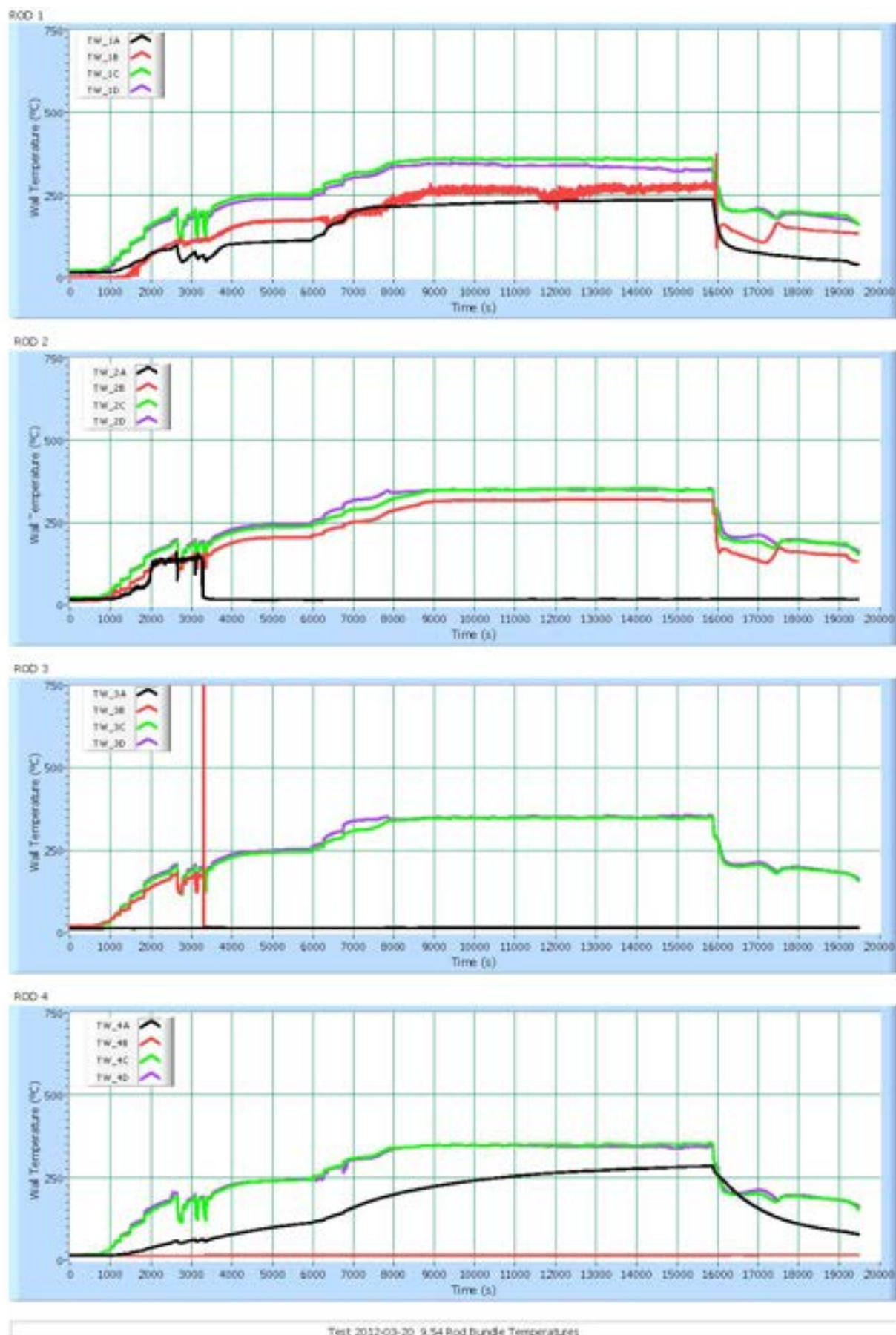
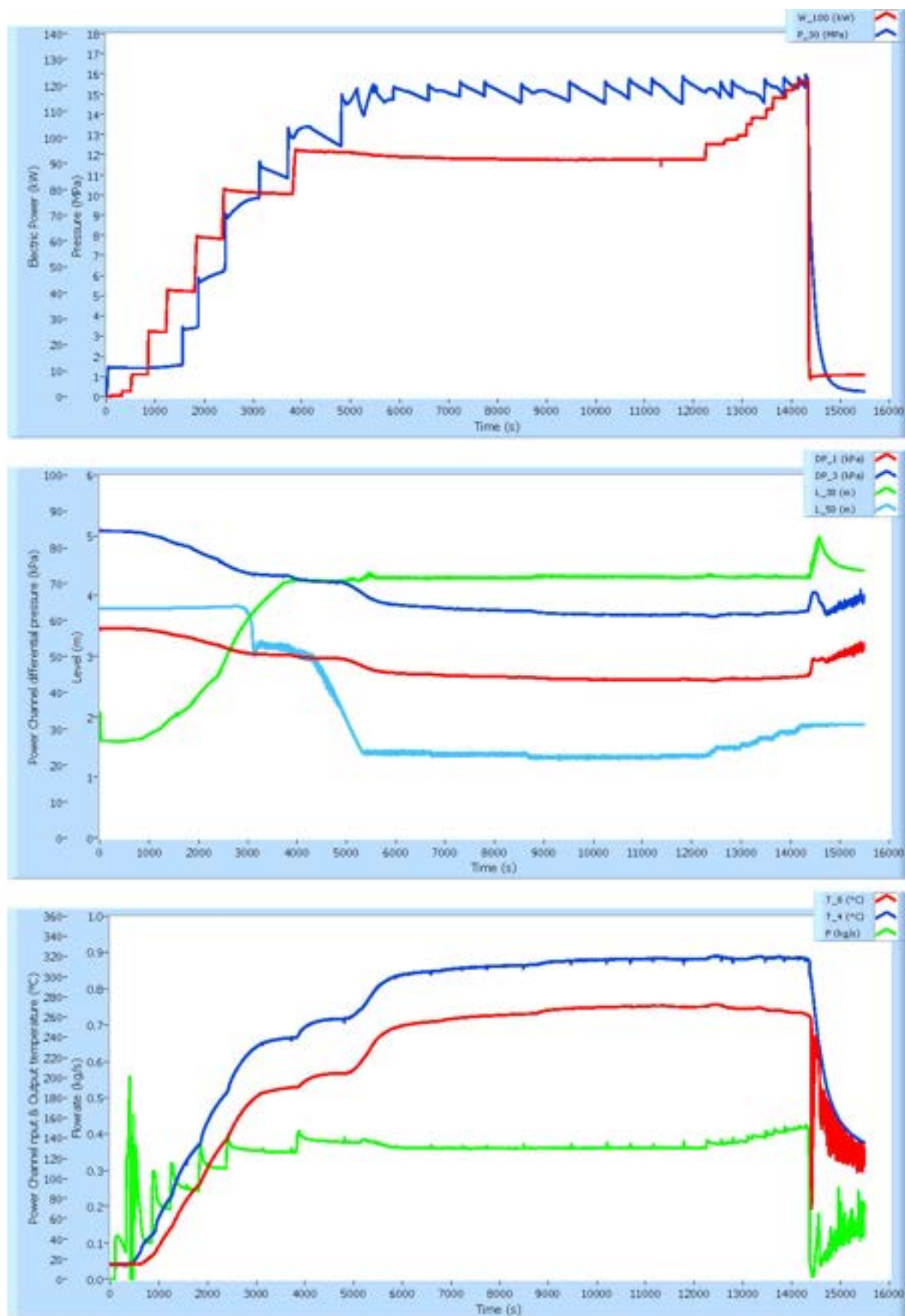
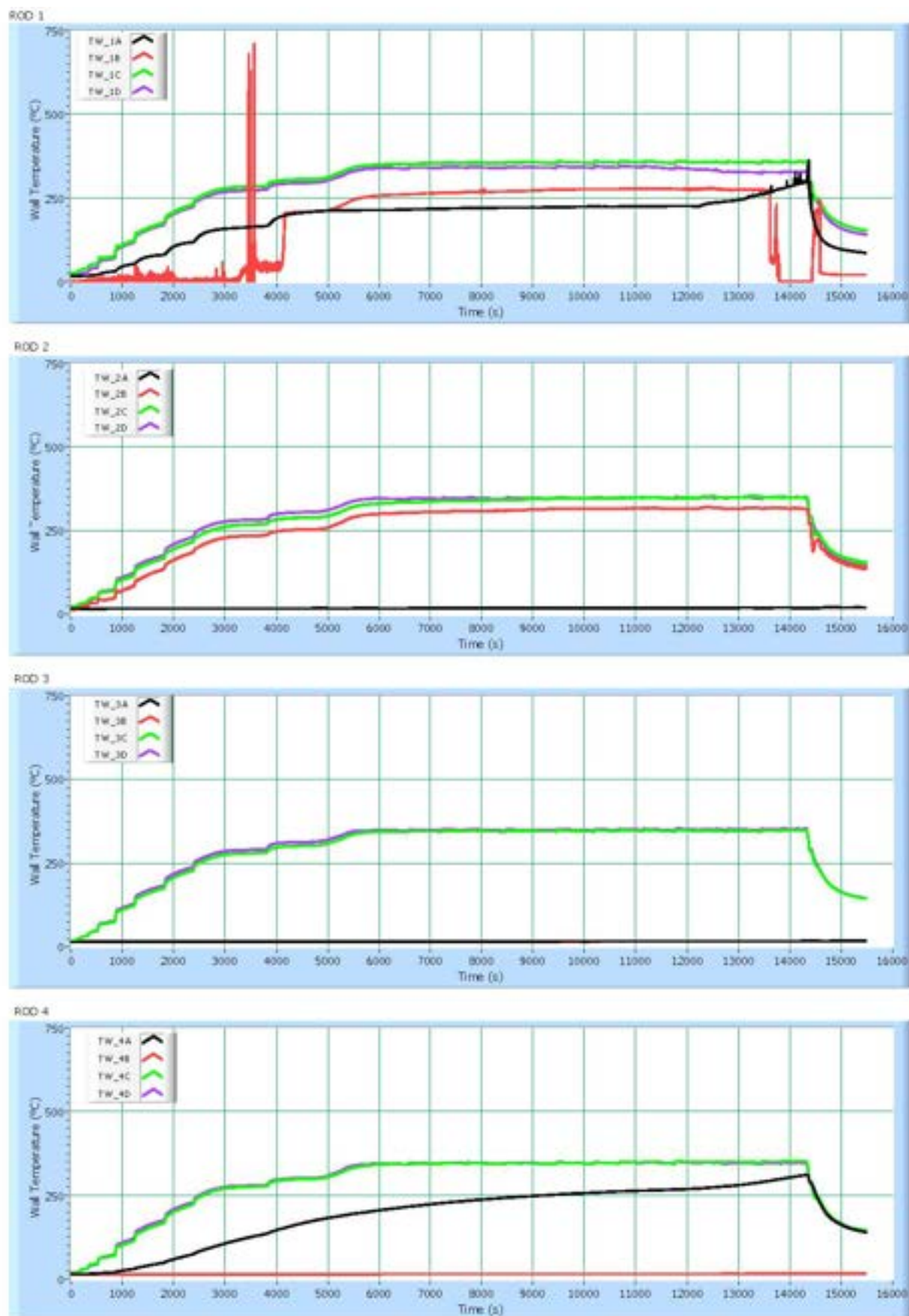


Figura 20 - Test 4 : Temperature di parete delle barre scaldanti



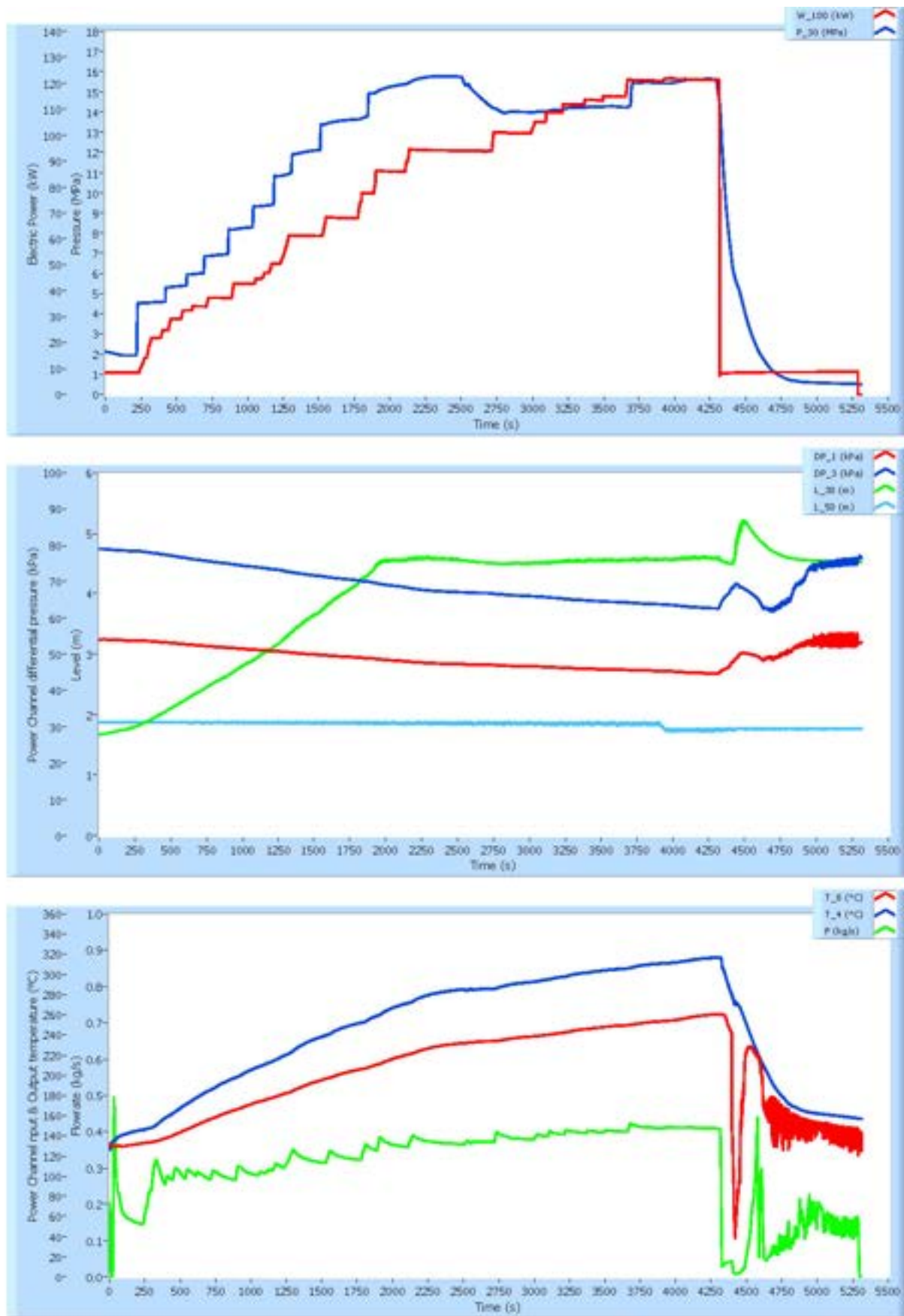
Test 2012-03-21_10.12 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 21 - Test 5 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-03-21_30.12 Rod Bundle Temperatures

Figura 22 - Test 5 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-21_14.32 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 23 - Test 6 : Principali grandezze termoidrauliche

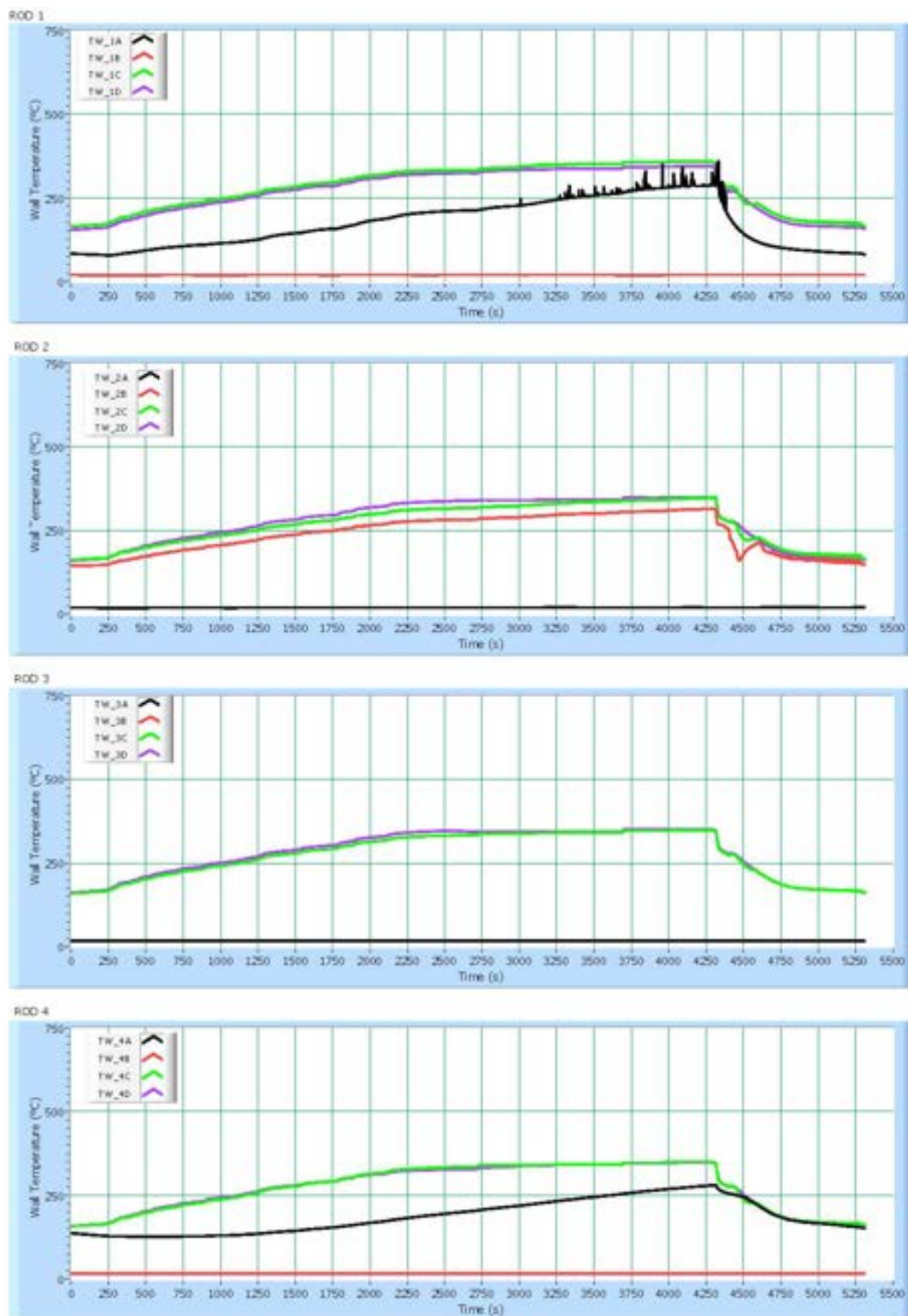


Figura 24 - Test 6 : Temperature di parete delle barre scaldanti

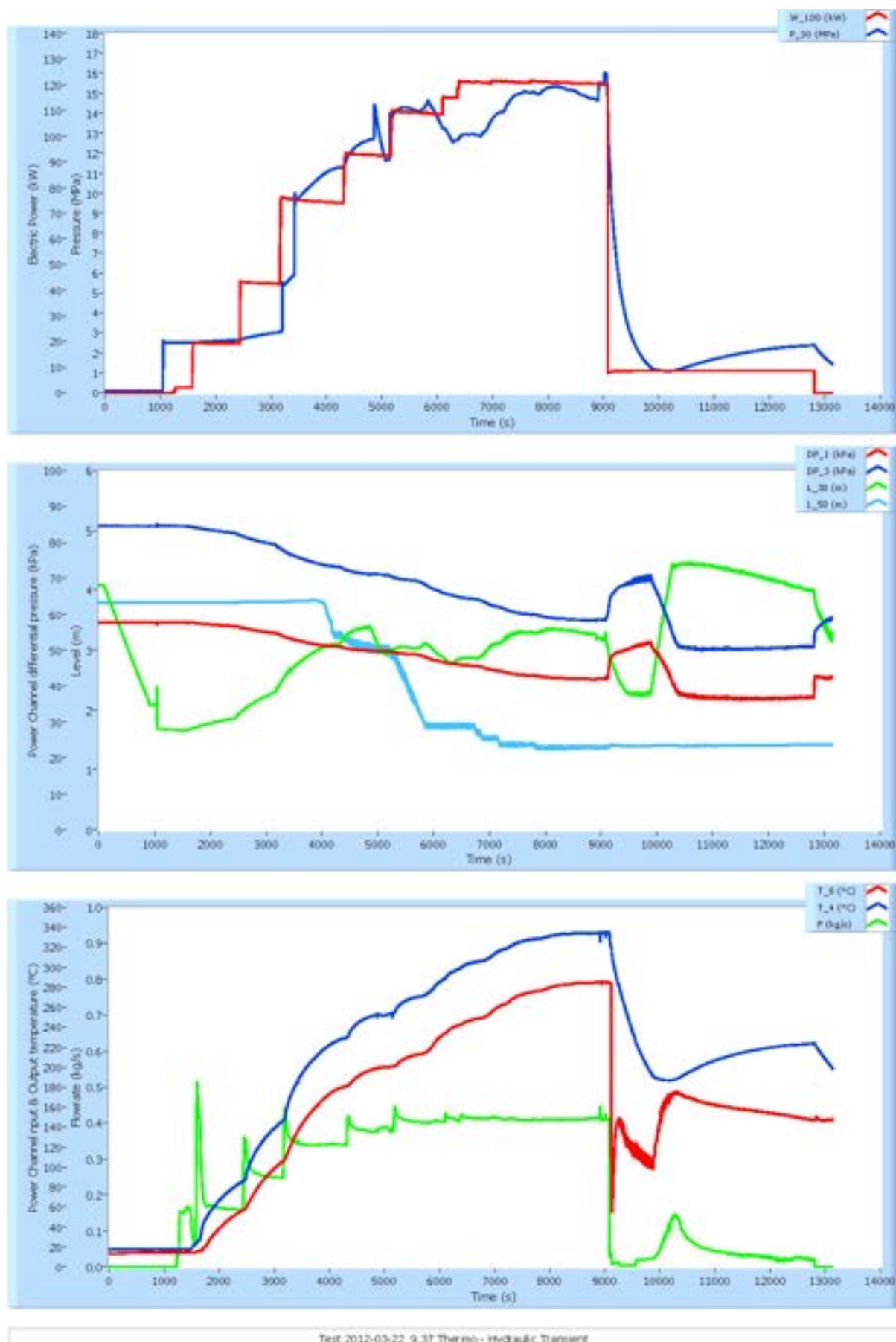
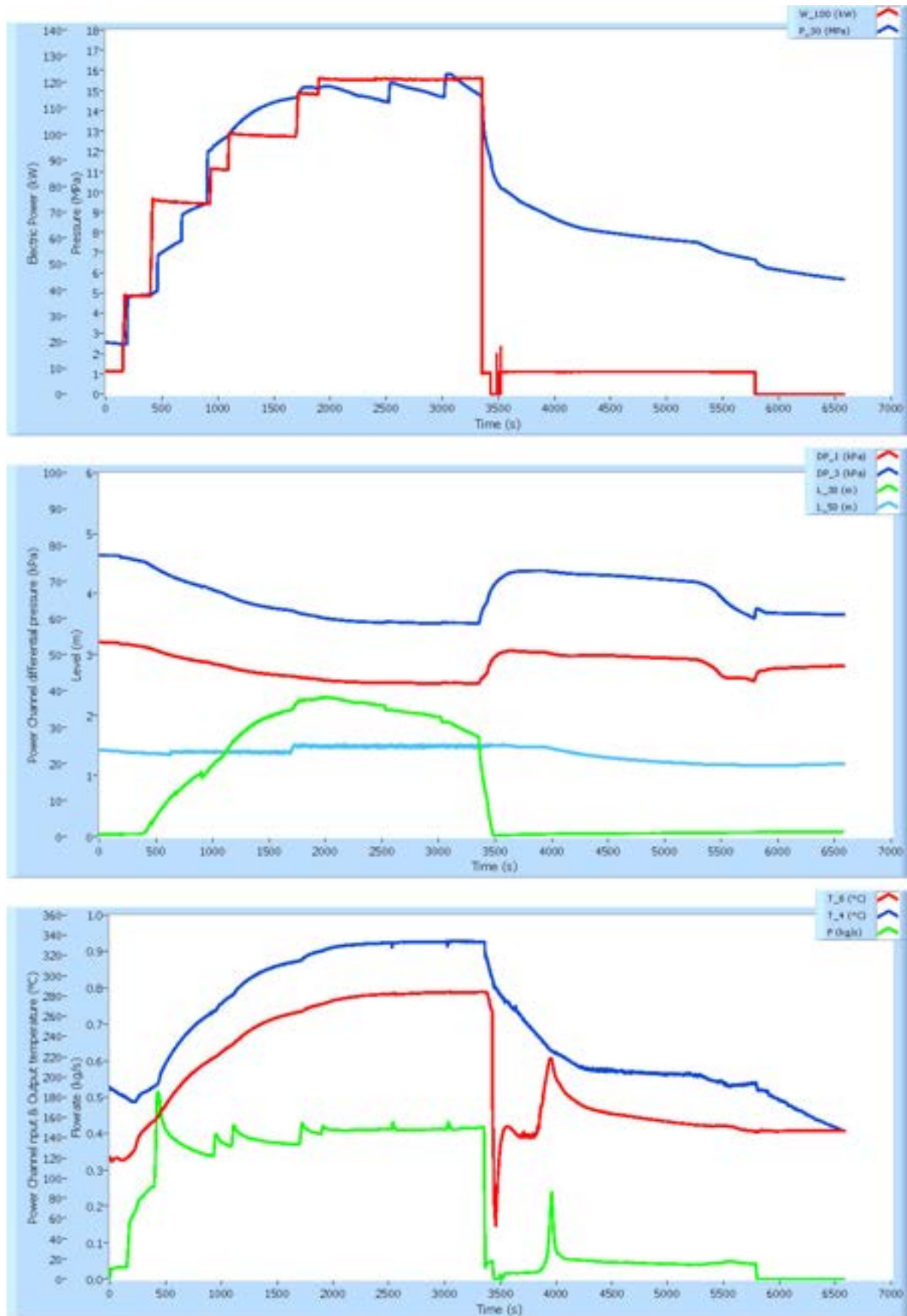


Figura 25 - Test 7 : Principali grandezze termoidrauliche



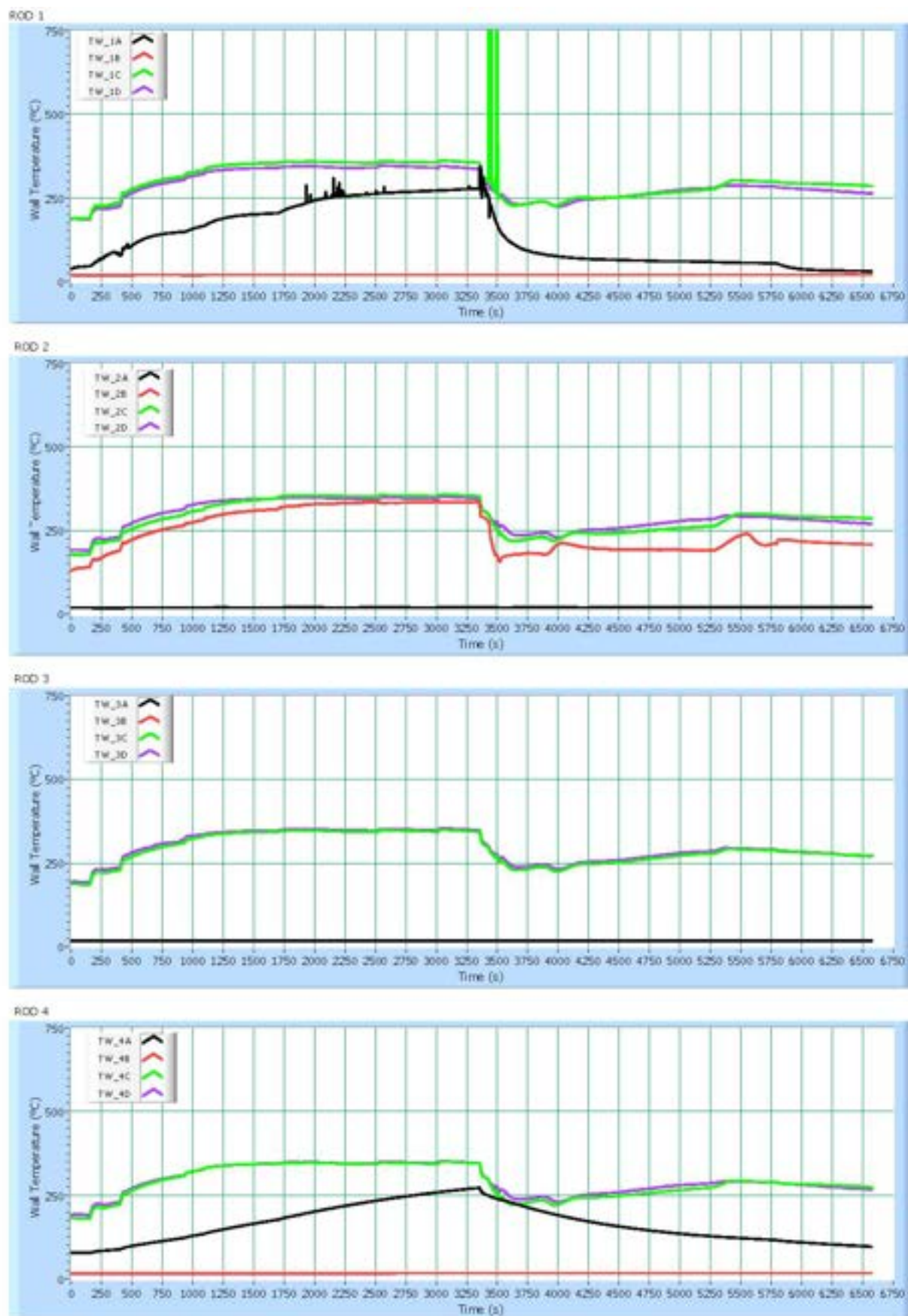
Test 2012-03-22_9.37 Rod Bundle Temperatures

Figura 26 - Test 7 : Temperature di parete delle barre scaldanti



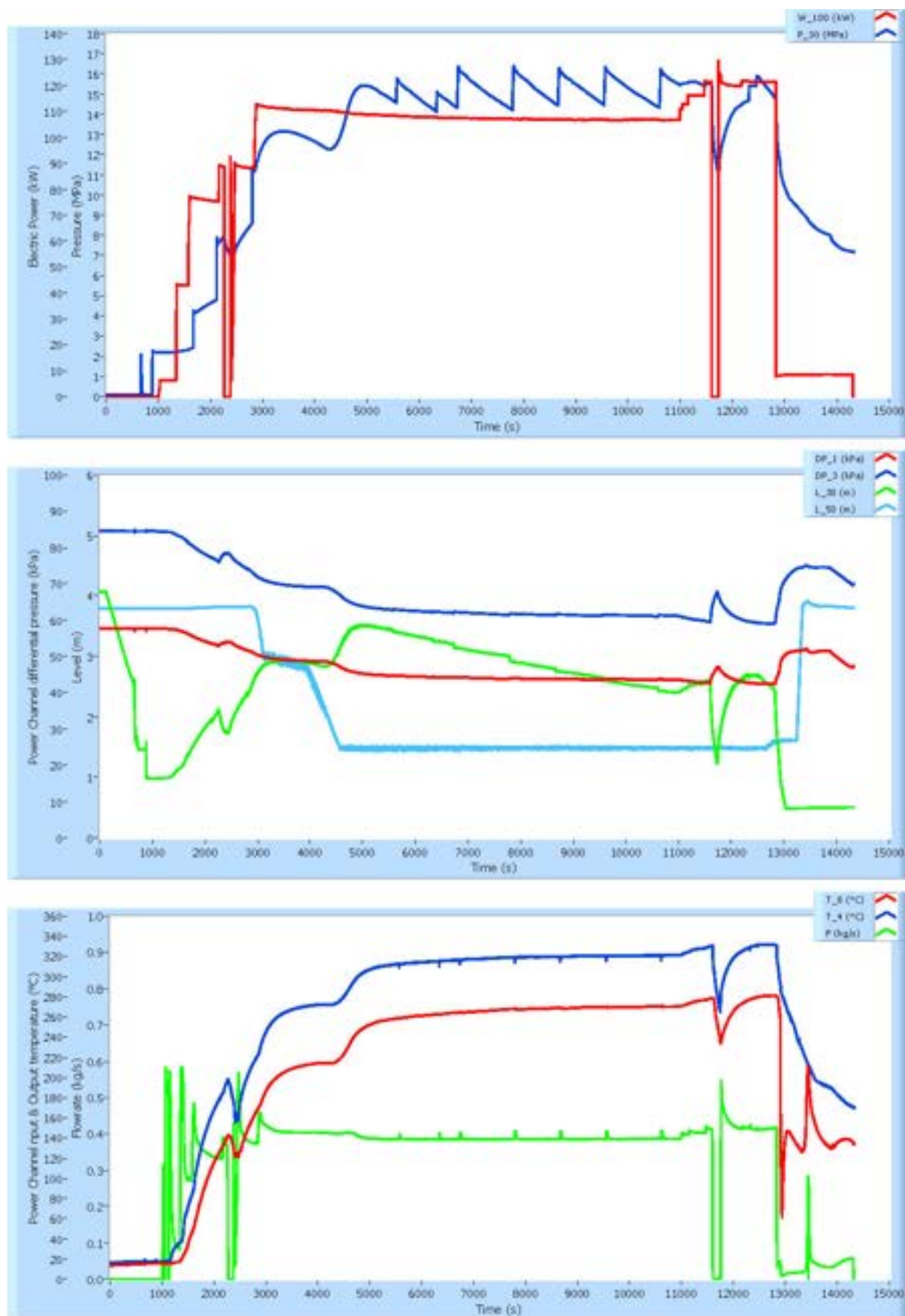
Test 2012-03-22_13.27 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 27 - Test 8 : Principali grandezze termoidrauliche



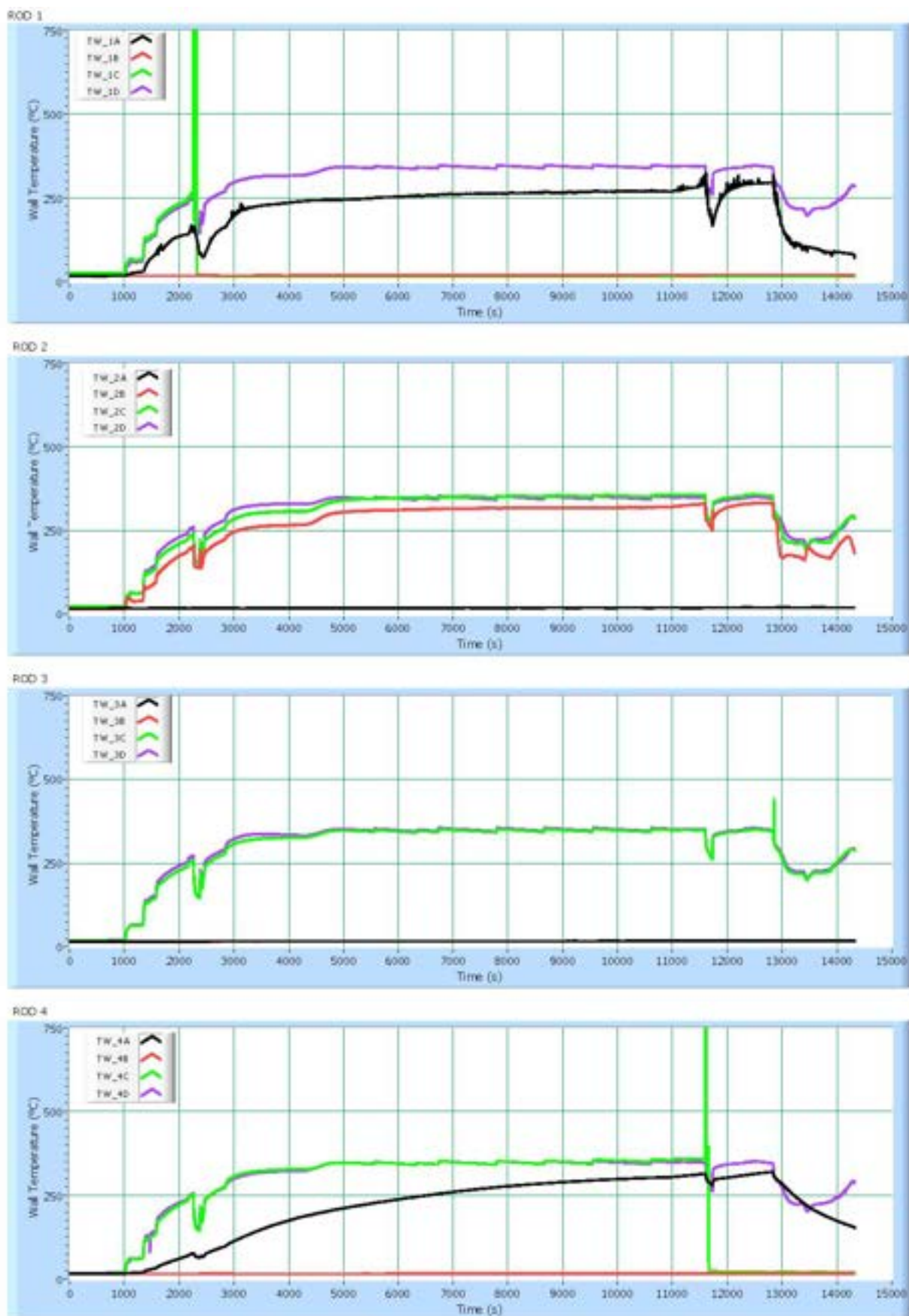
Test 2012-03-22_13.27 Rod Bundle Temperatures

Figura 28 - Test 8 : Temperature di parete delle barre scaldanti



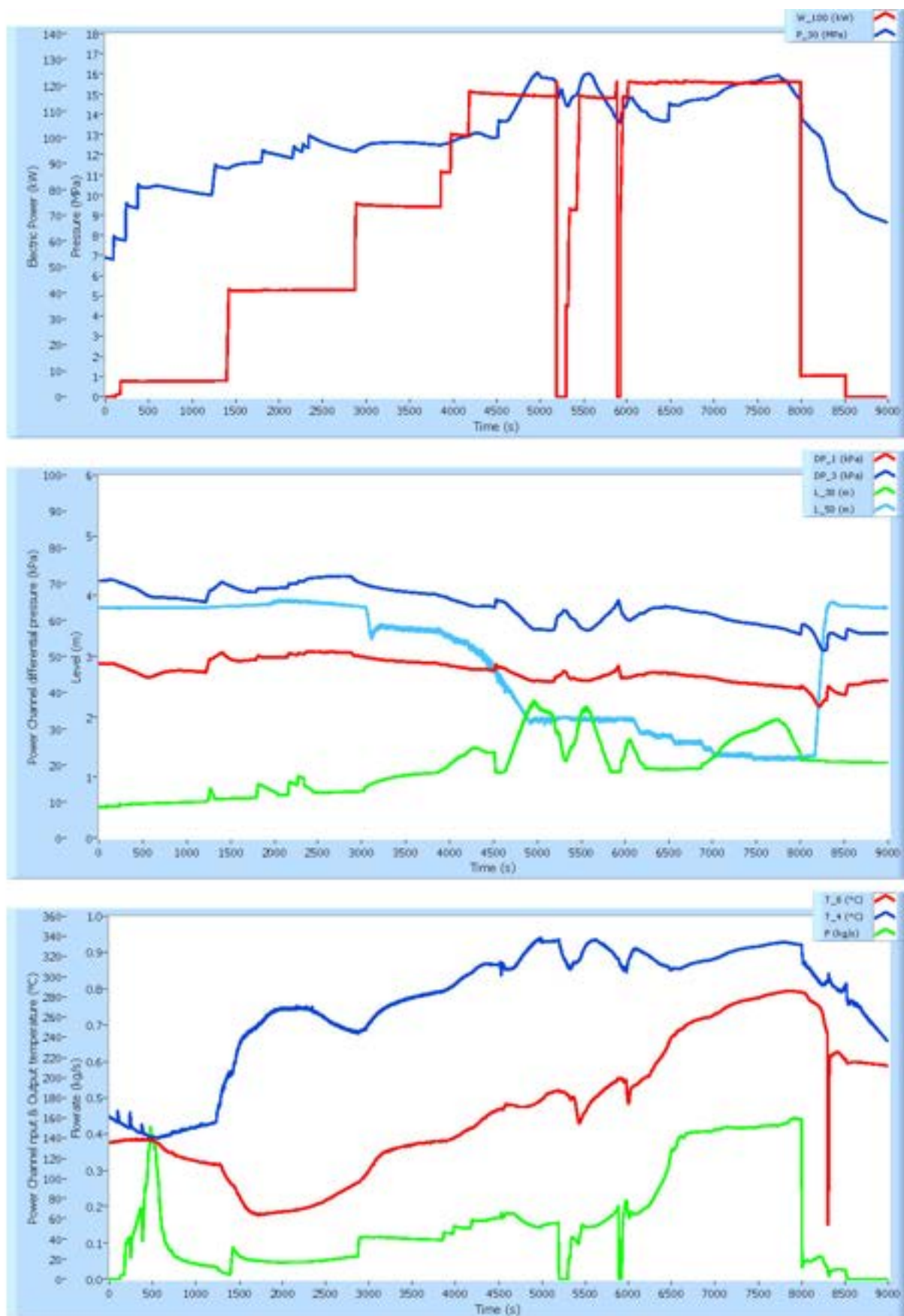
Test 2012-03-23_10.25 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 29 - Test 9 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-03-23_30.25 Rod Bundle Temperatures

Figura 30 - Test 9 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-23_14.20 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 31 - Test 10 : Principali grandezze termoidrauliche

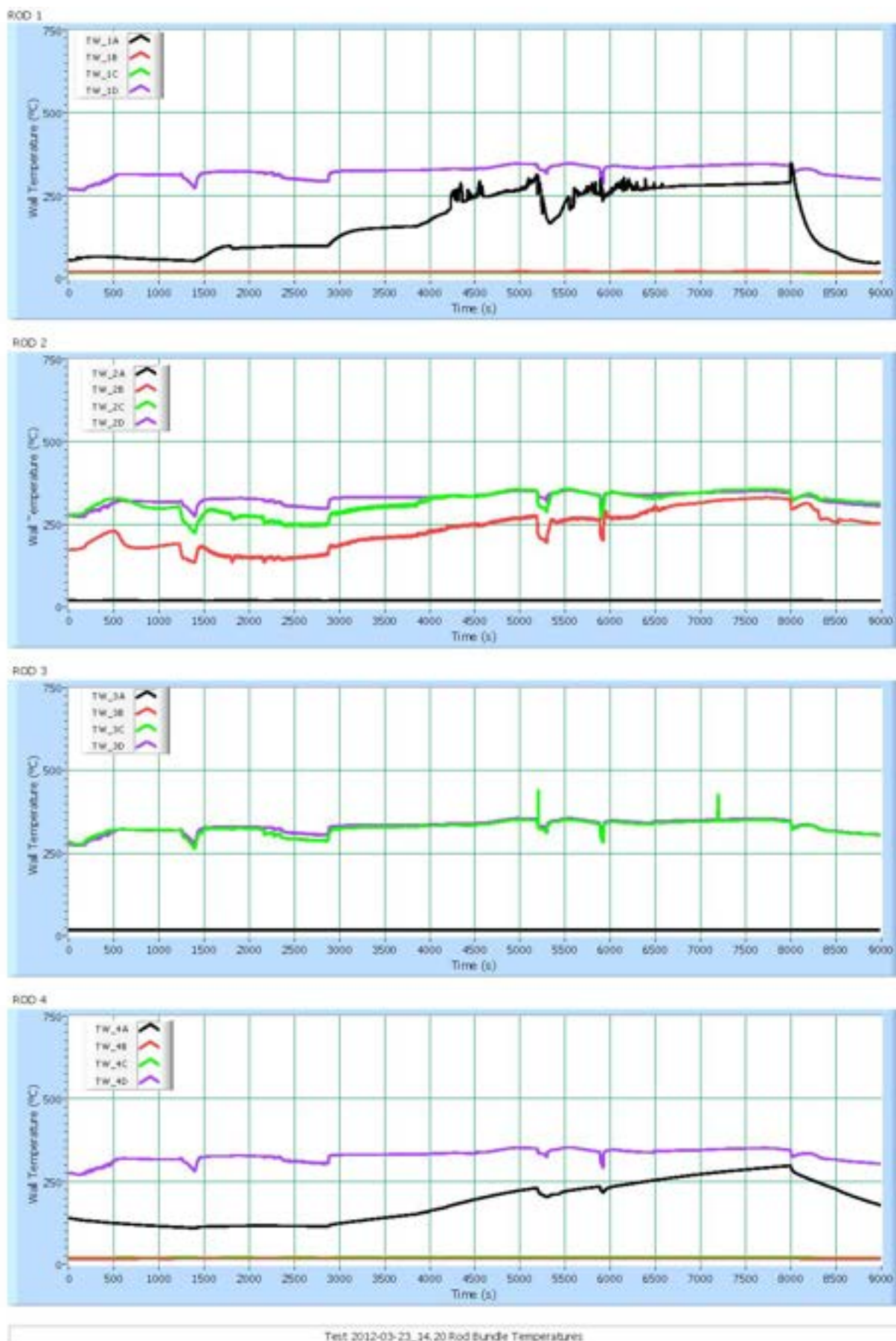
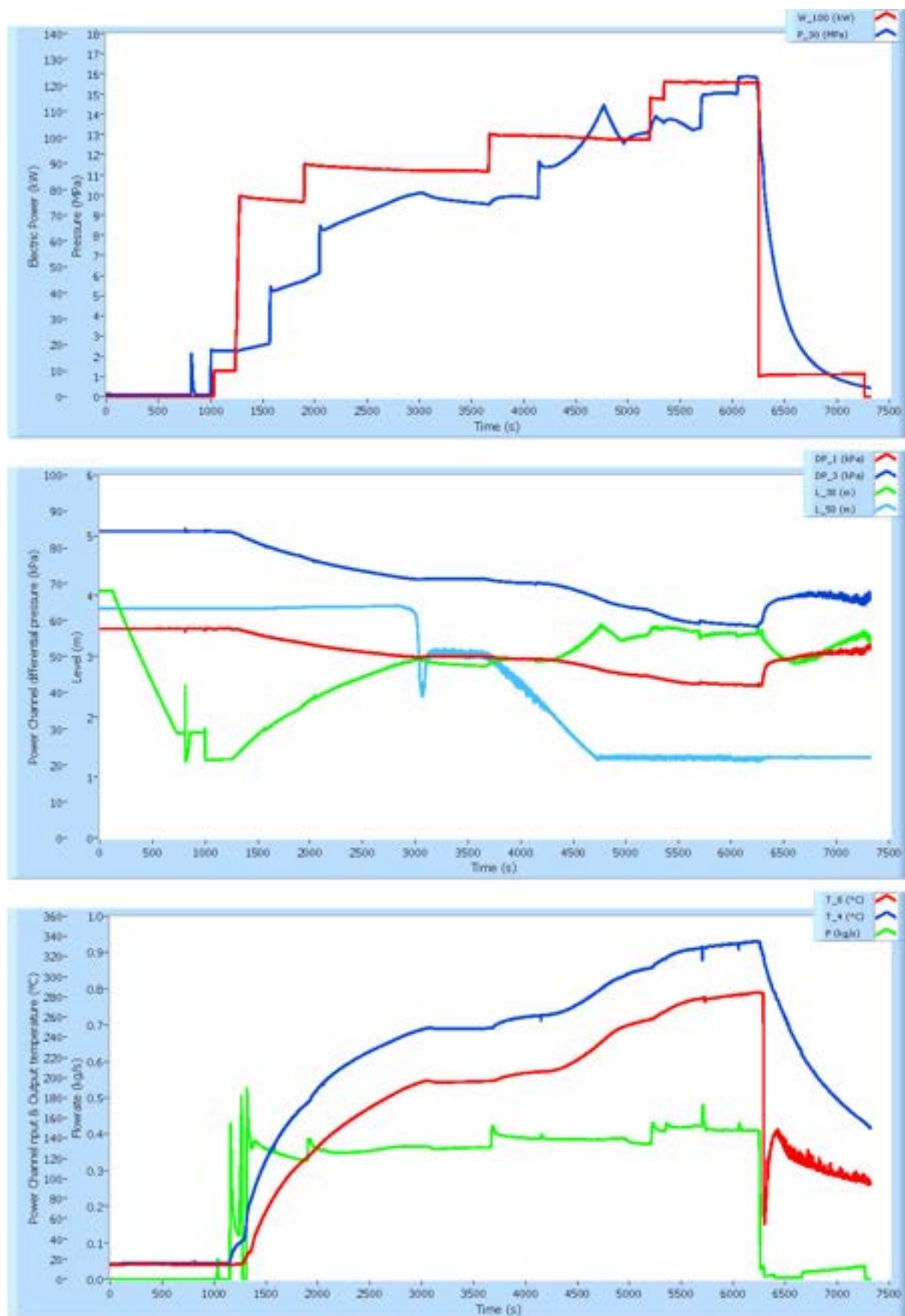


Figura 32 - Test 10 : Temperature di parete delle barre scaldanti

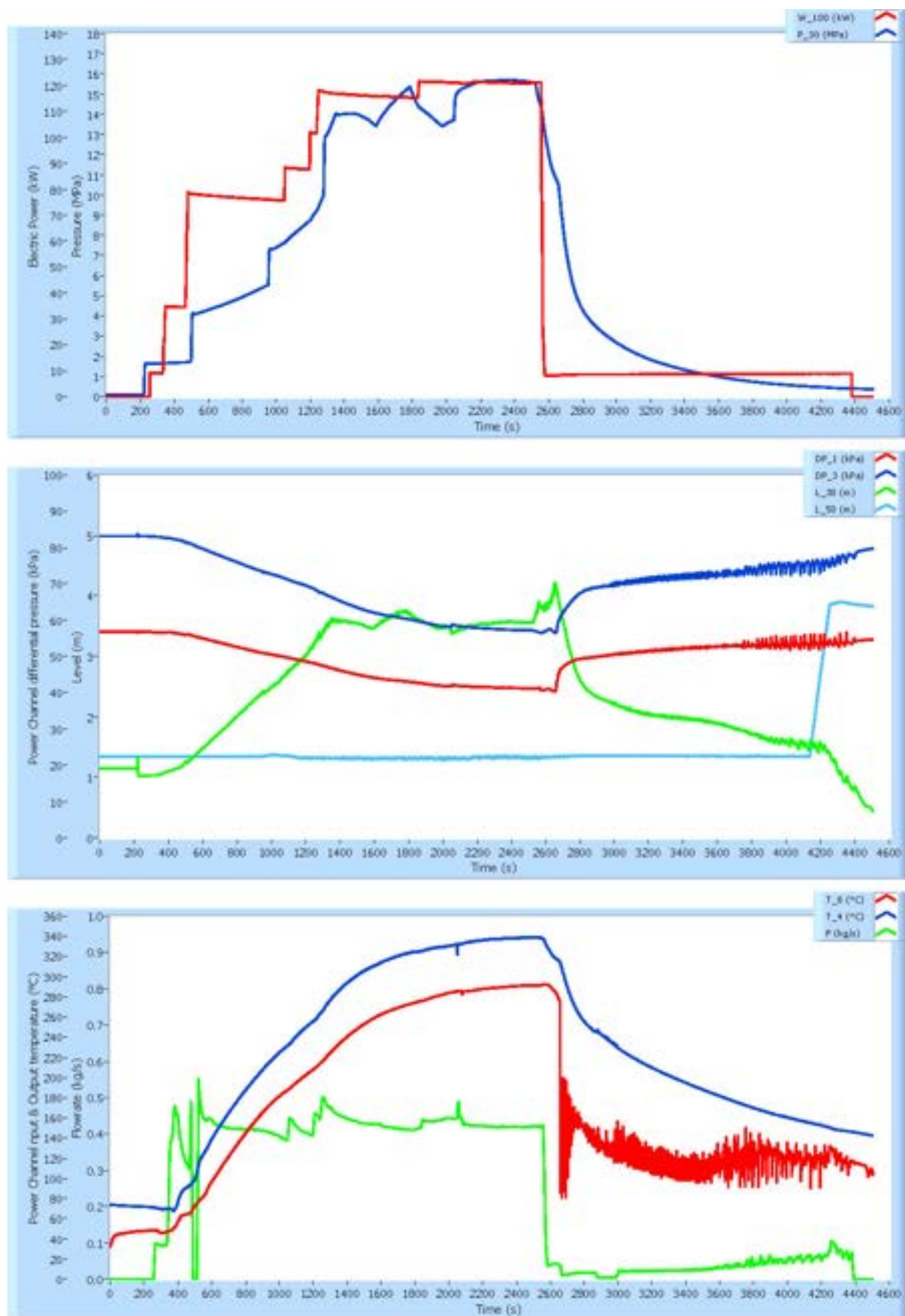


Test 2012-03-26_10.24 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 33 - Test 11 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 34 - Test 11 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-26_14.00 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 35 - Test 12 : Principali grandezze termoidrauliche

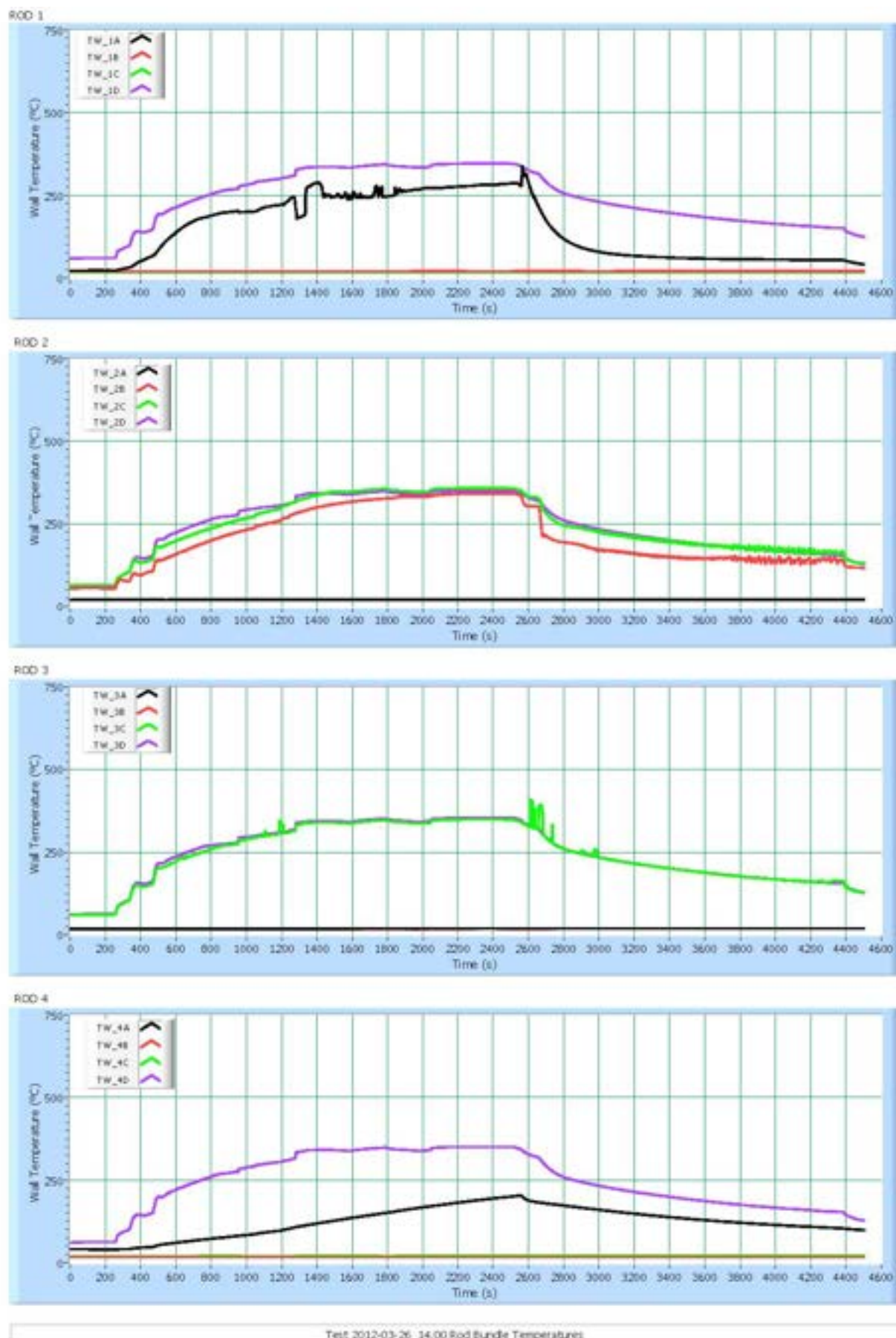


Figura 36 - Test 12 : Temperature di parete delle barre scaldanti

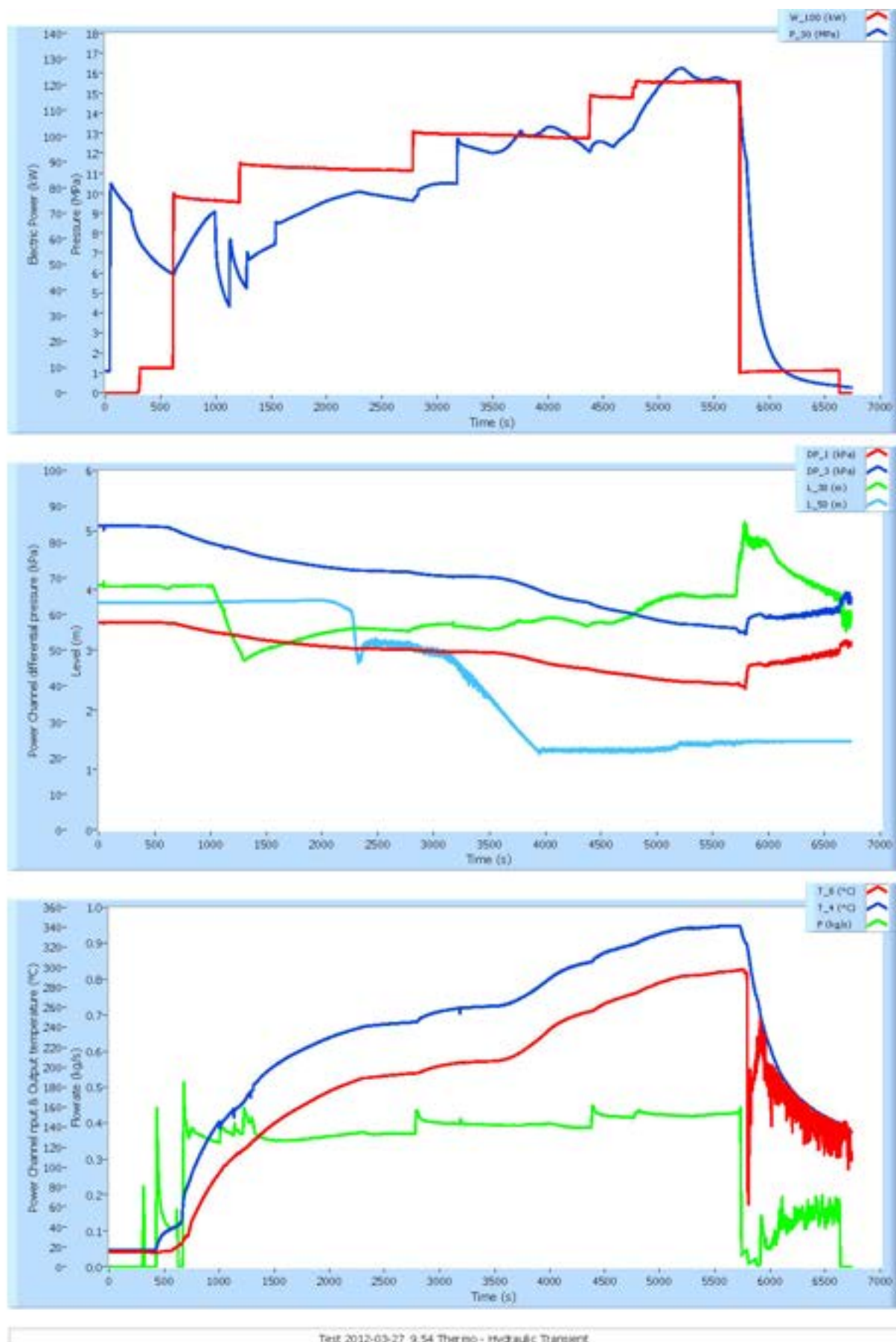
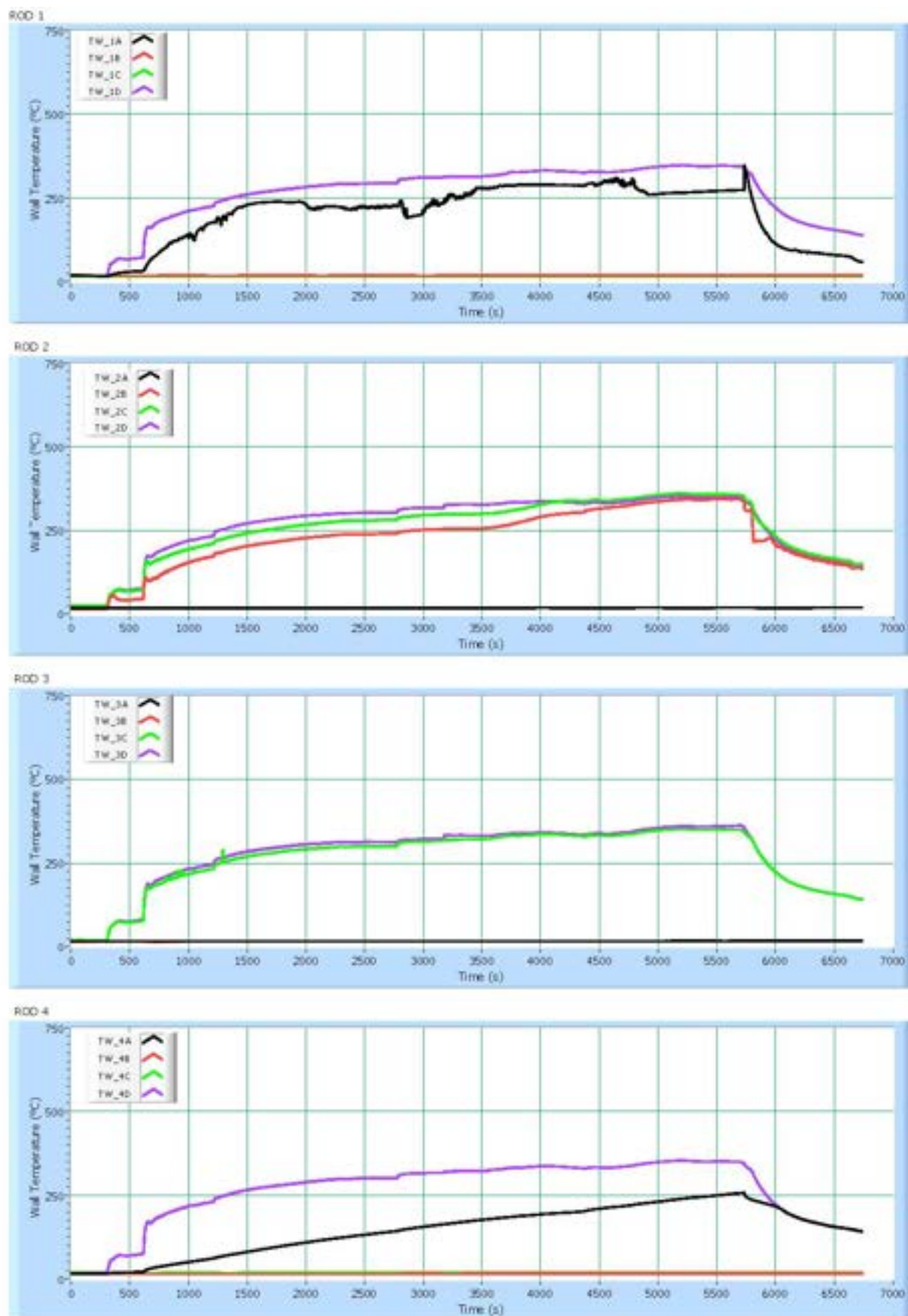


Figura 37 - Test 13 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-03-27_9.54 Rod Bundle Temperatures

Figura 38 - Test 13 : Temperature di parete delle barre scaldanti

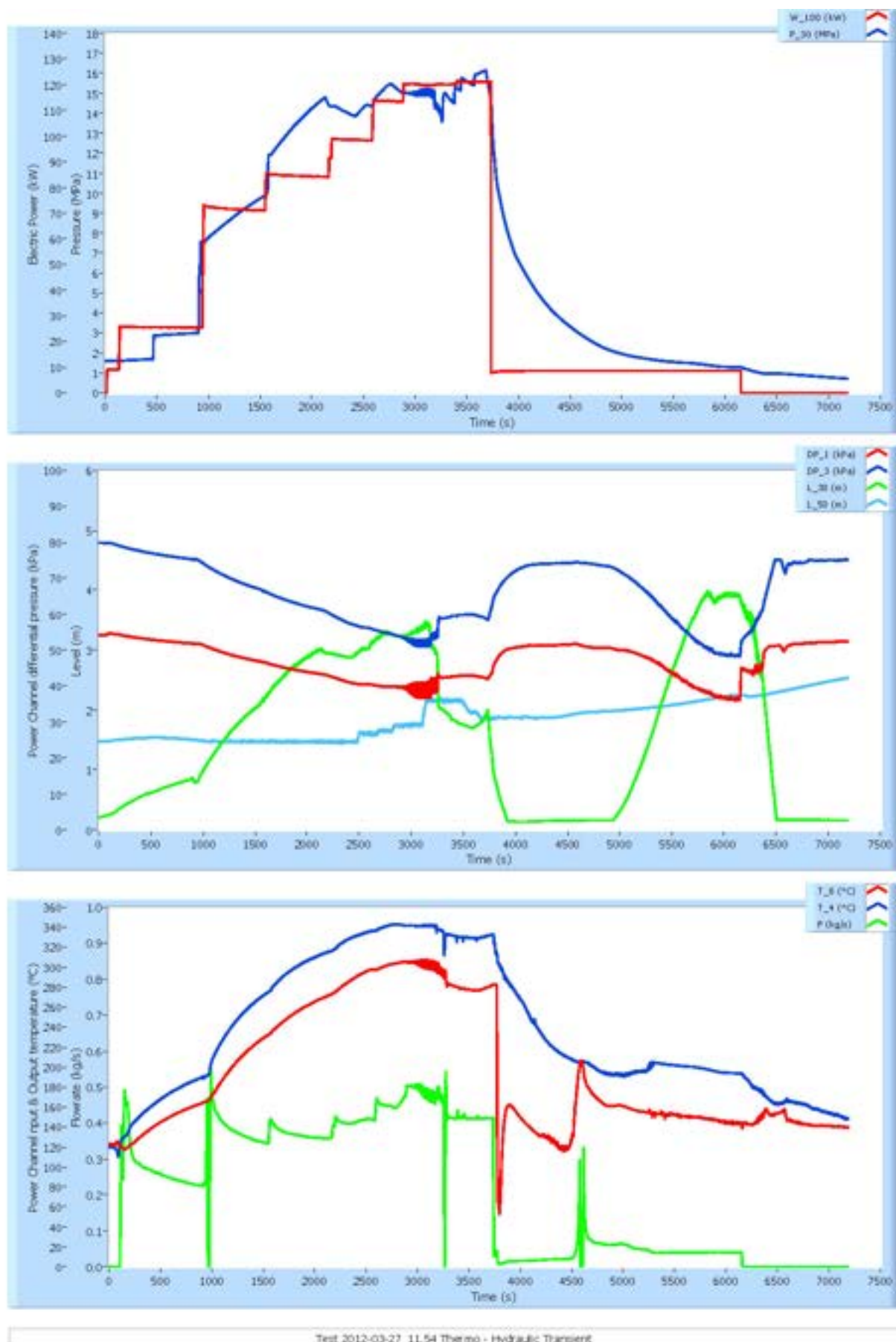
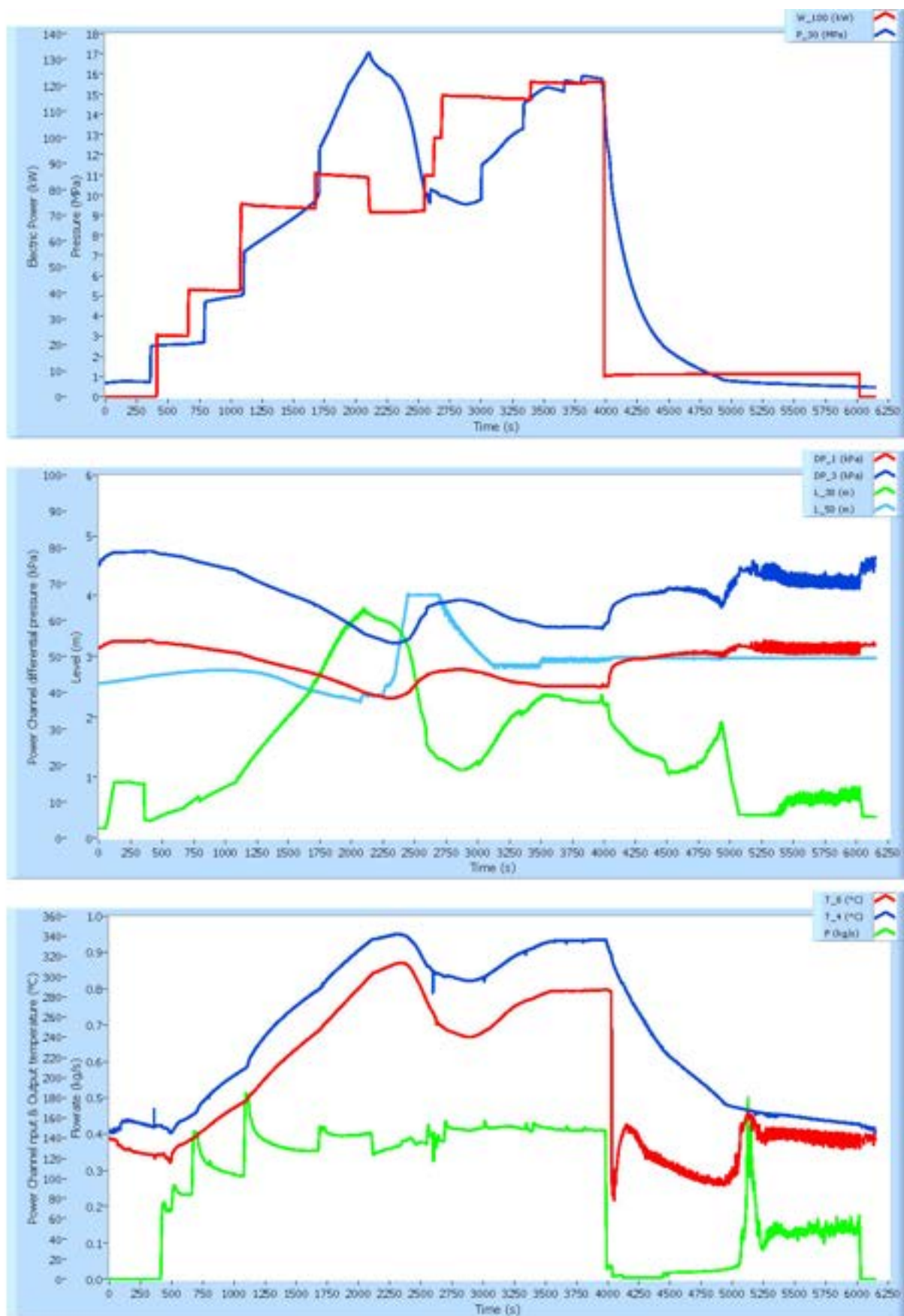


Figura 39 - Test 14 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 40 - Test 14 : Temperature di parete delle barre scaldanti

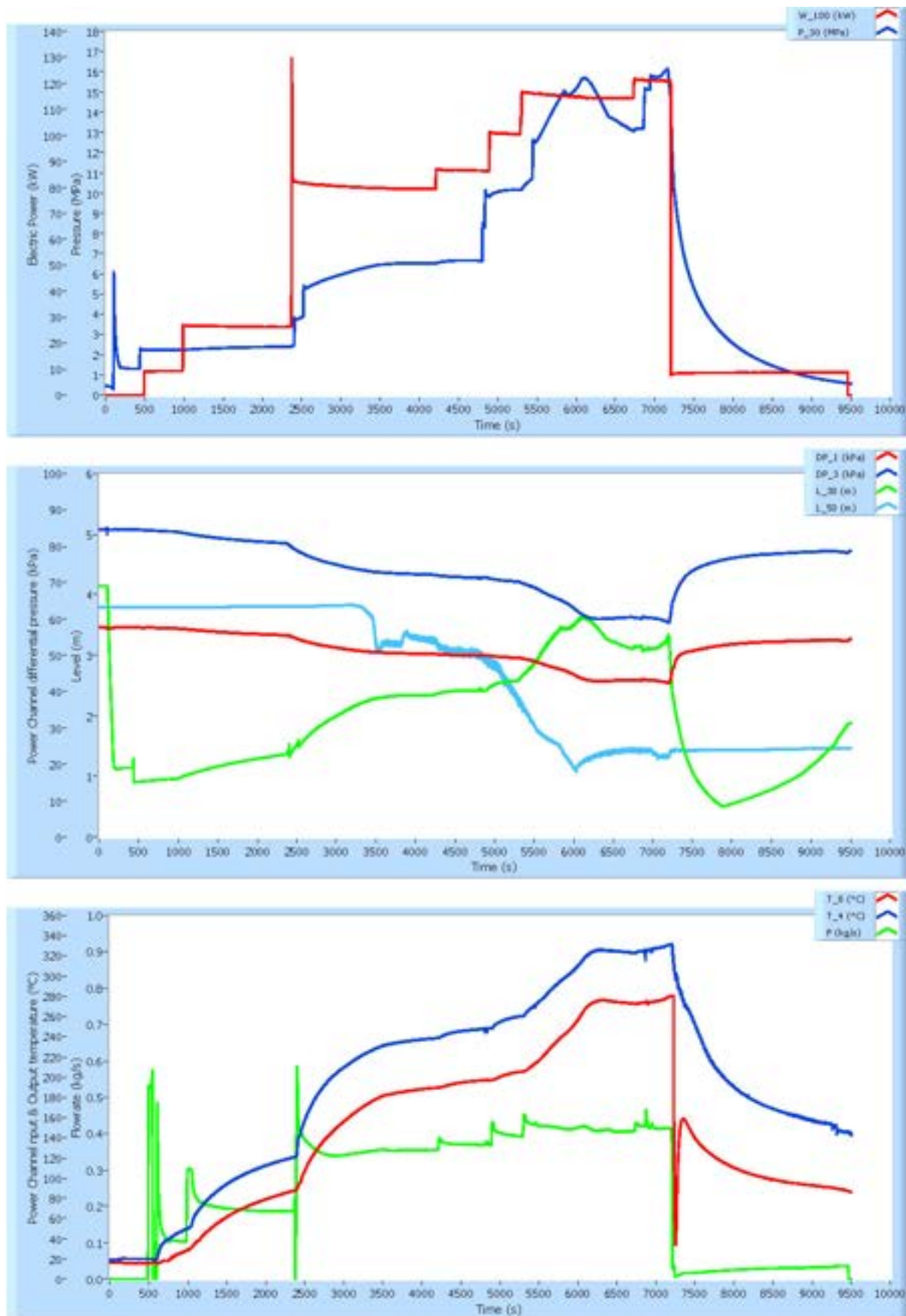


Test 2012-03-27_13.54 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 41 - Test 15 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 42 - Test 15 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-28_9-43 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 43 - Test 16 : Principali grandezze termoidrauliche

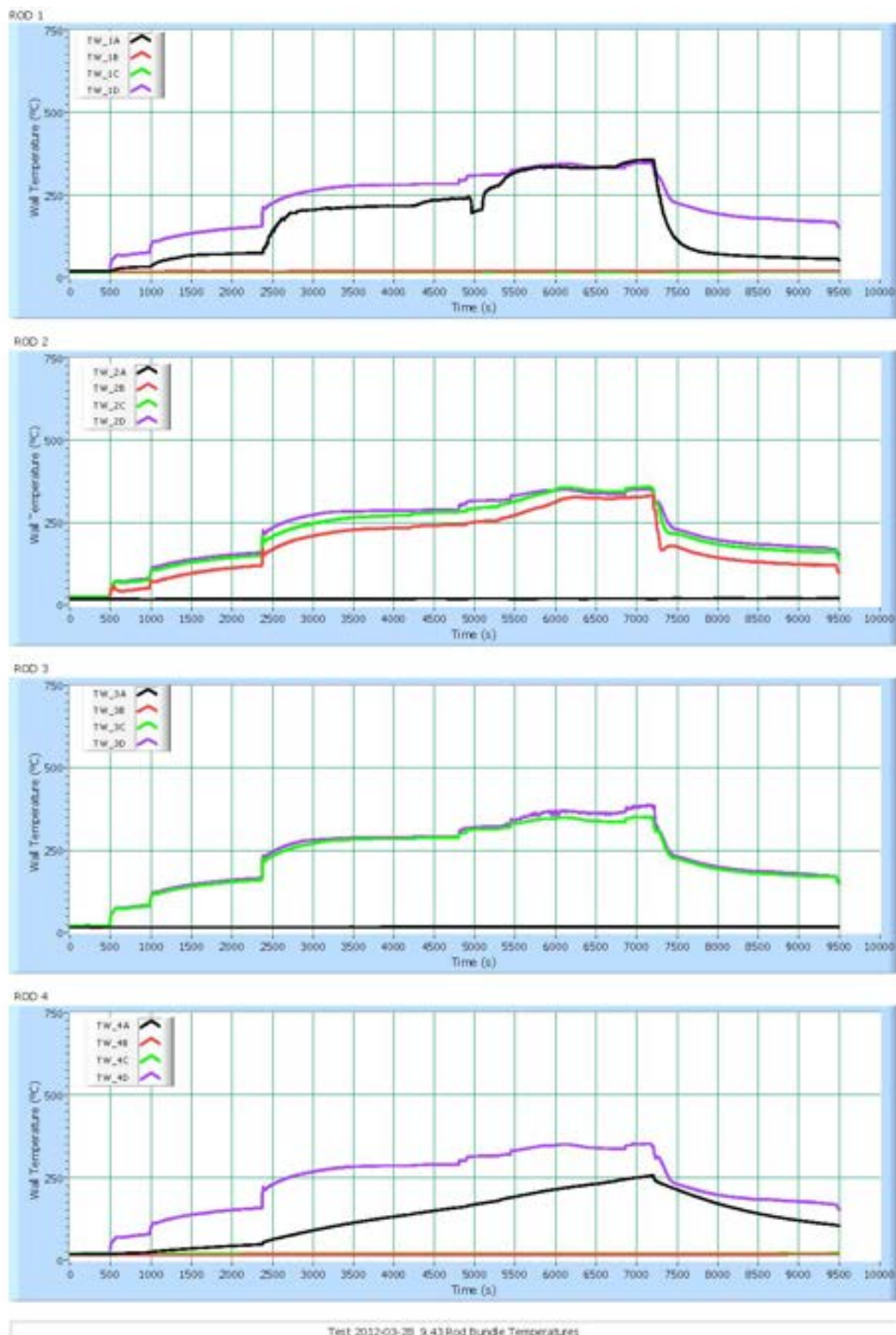
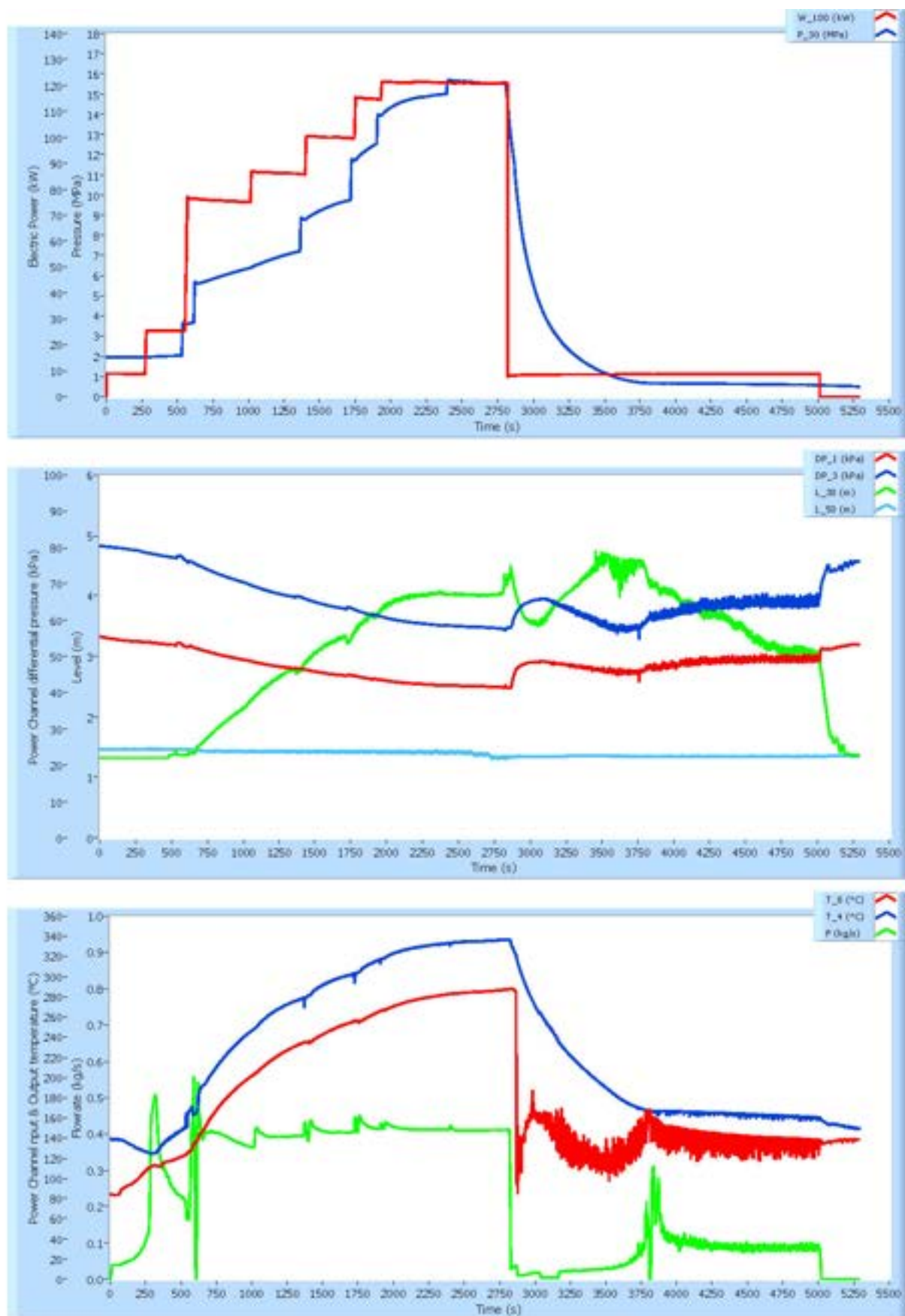


Figura 44 - Test 16 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-28_12.28 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 45 - Test 17 : Principali grandezze termoidrauliche

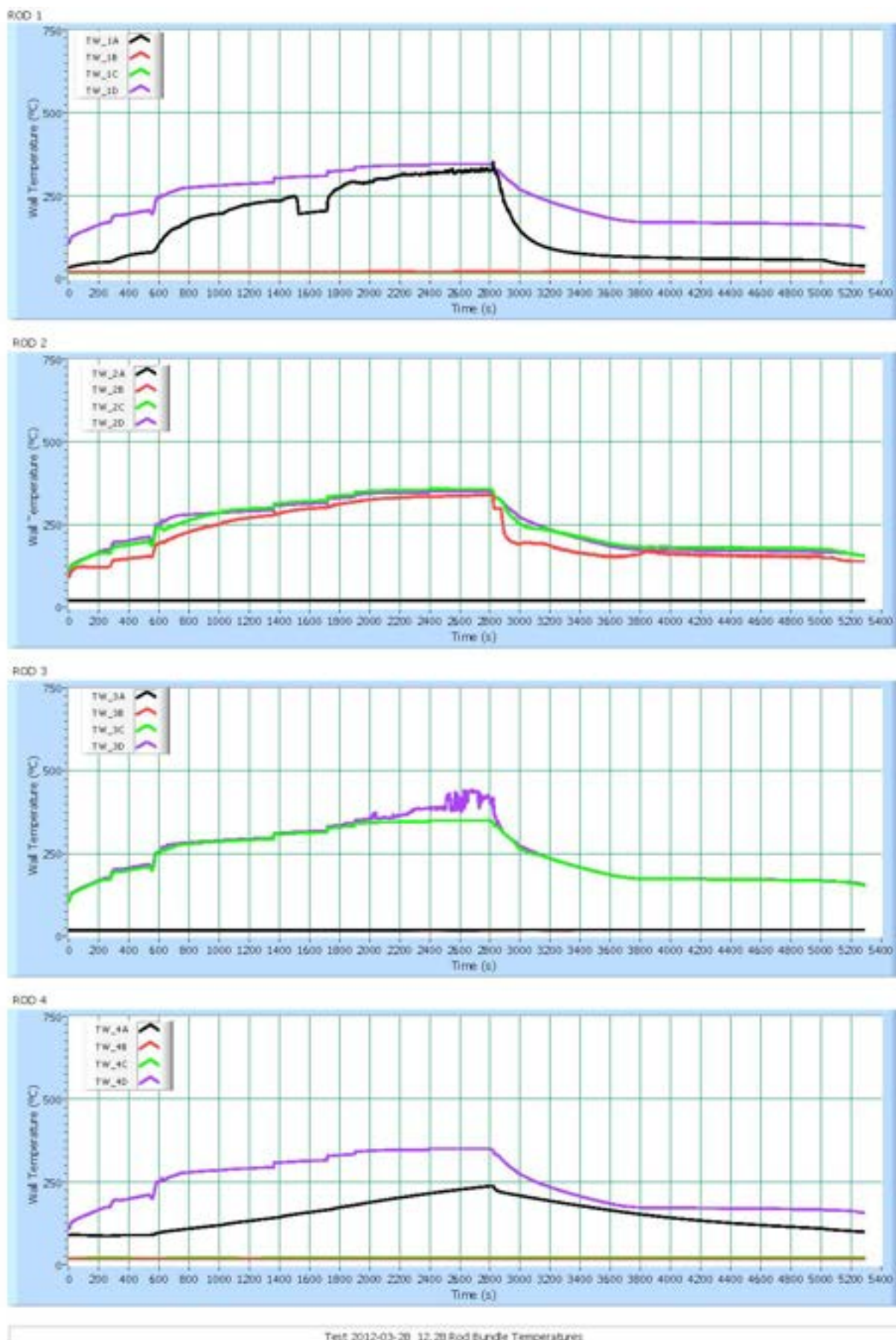
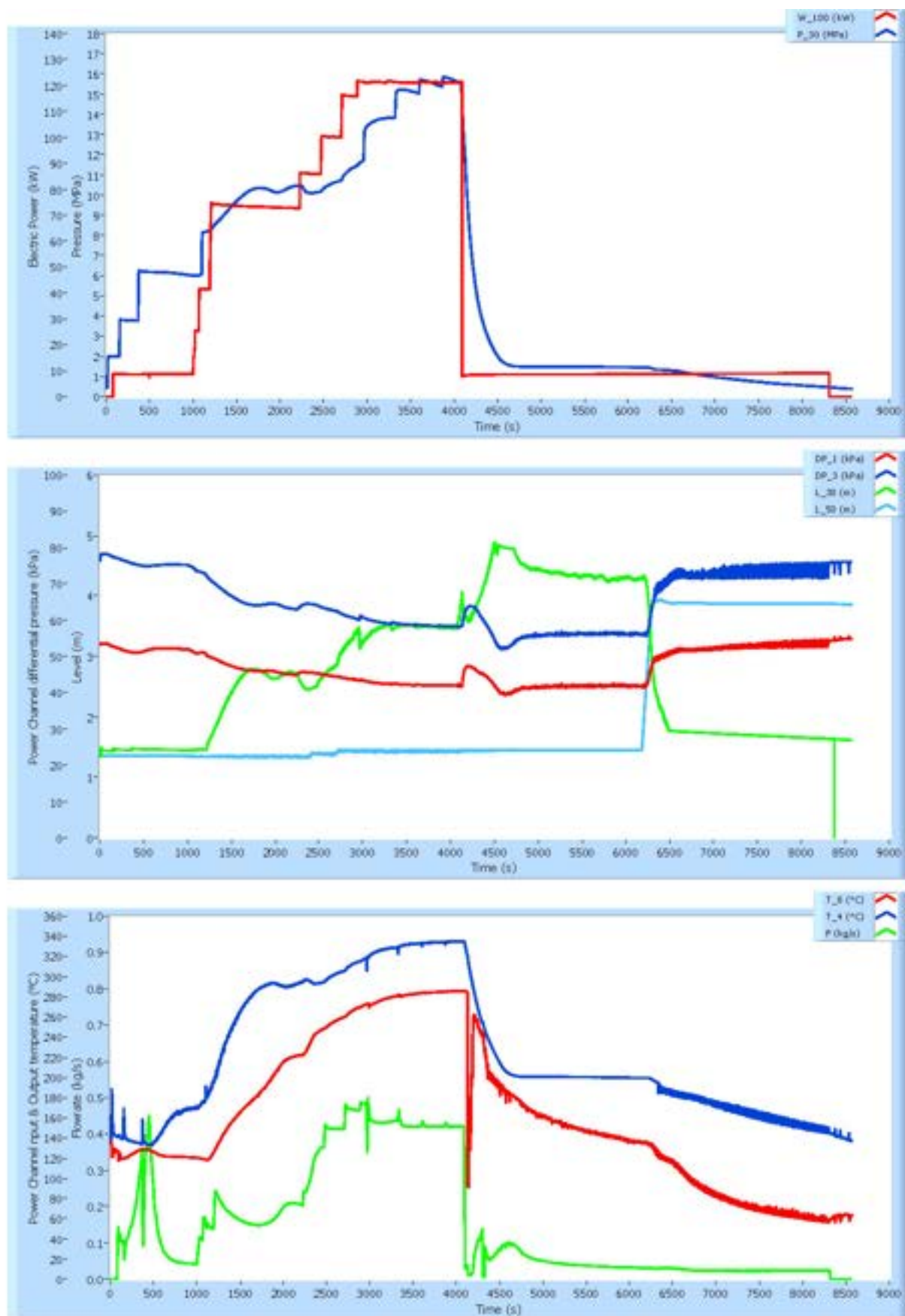


Figura 46 - Test 17 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-28_13.59 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 47 - Test 18 : Principali grandezze termoidrauliche

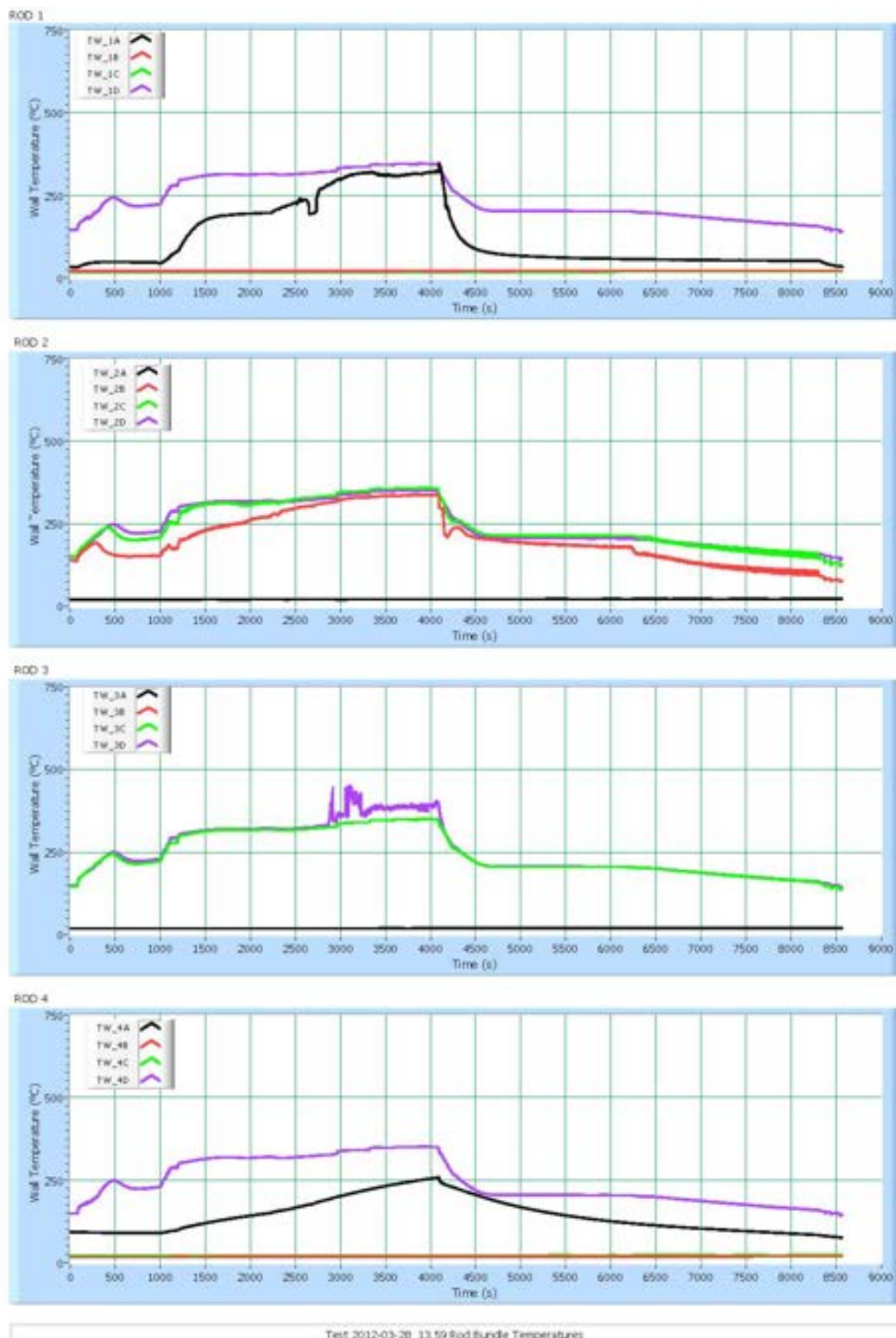
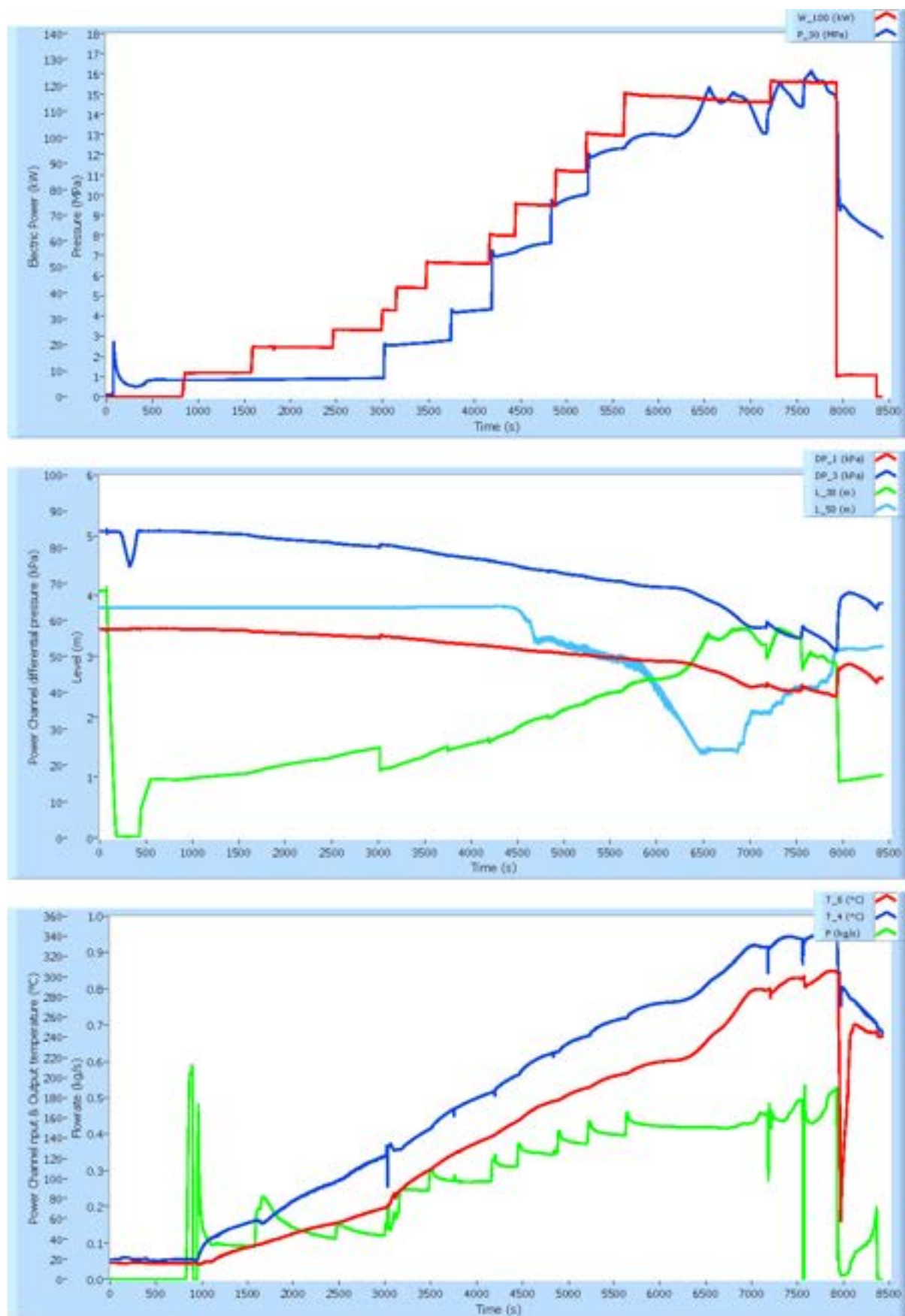


Figura 48 - Test 18 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-29_10.19 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 49 - Test 19 : Principali grandezze termoidrauliche

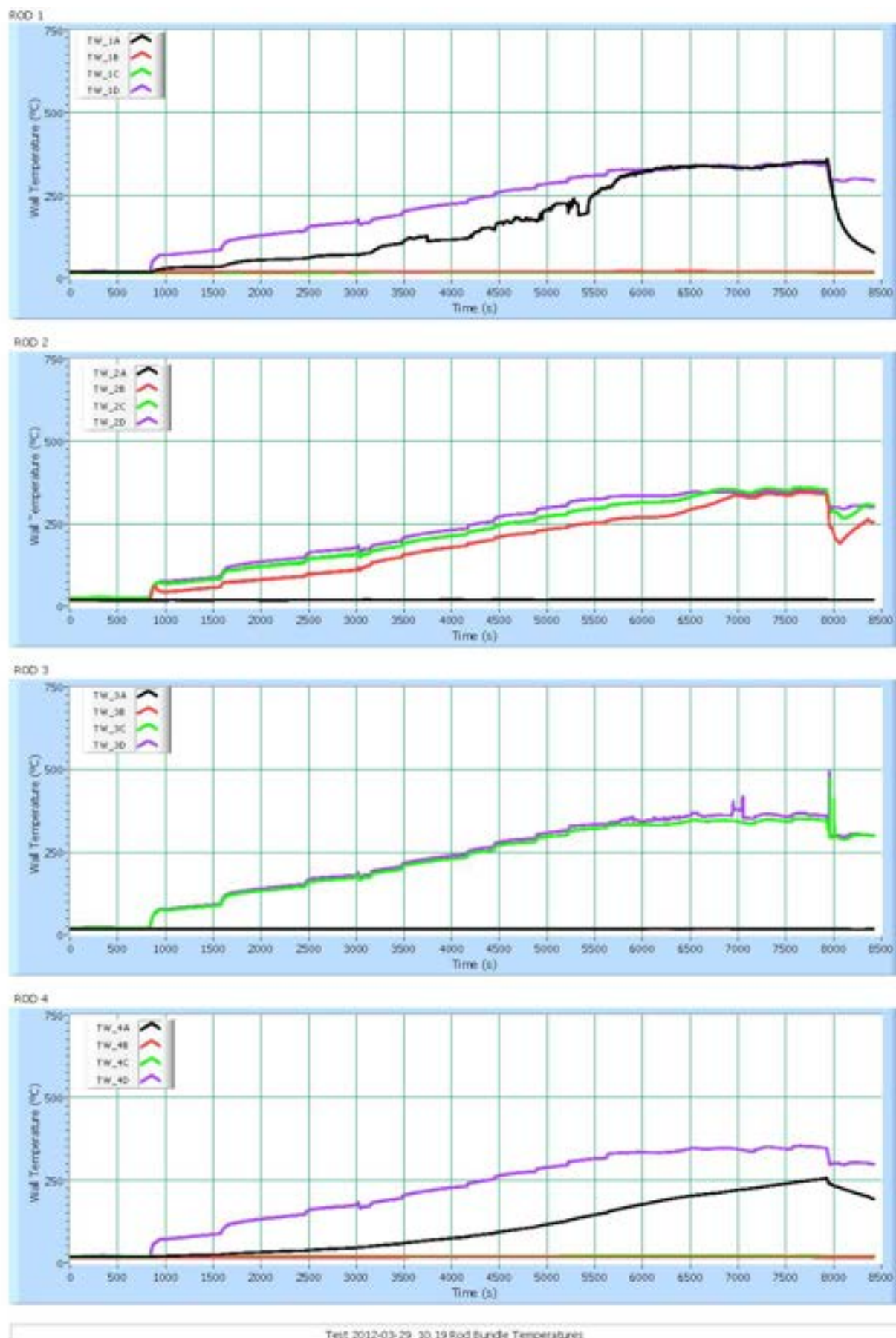
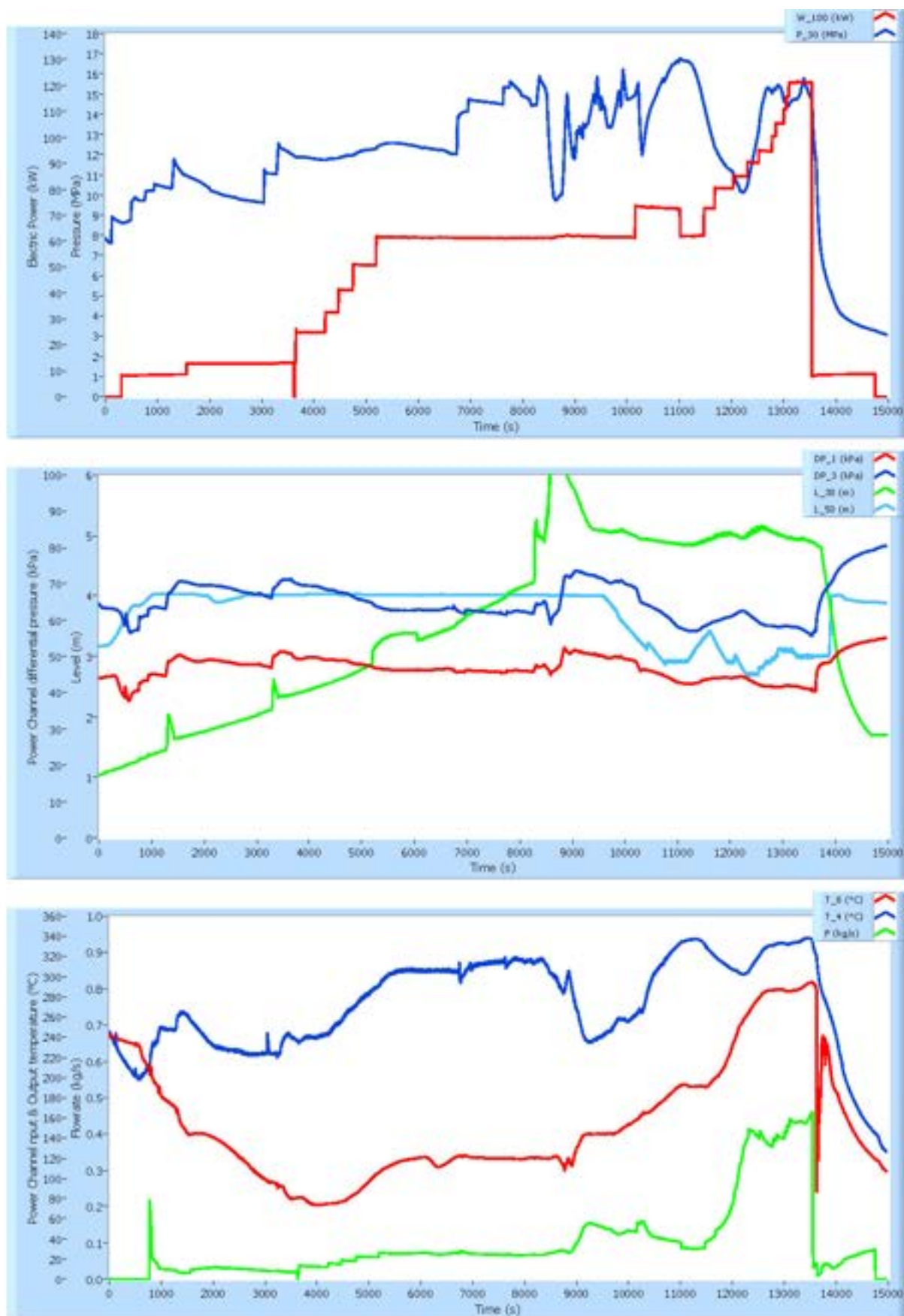


Figura 50 - Test 19 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-03-29_12:39 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 51 - Test 20 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 52 - Test 20 : Temperature di parete delle barre scaldanti

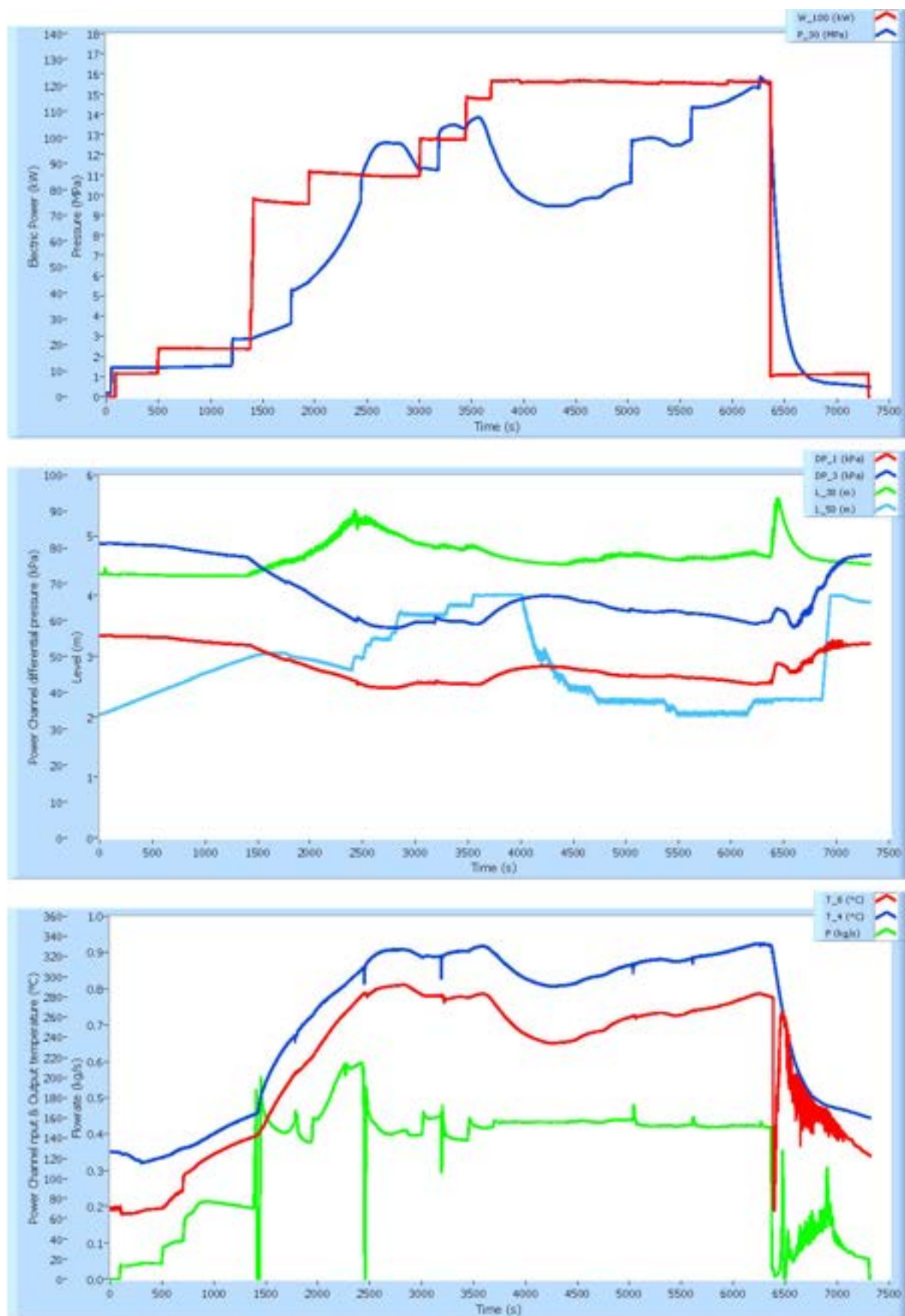


Test 2012-03-30_9.19 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 53 - Test 21 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 54 - Test 21 : Temperature di parete delle barre scaldanti

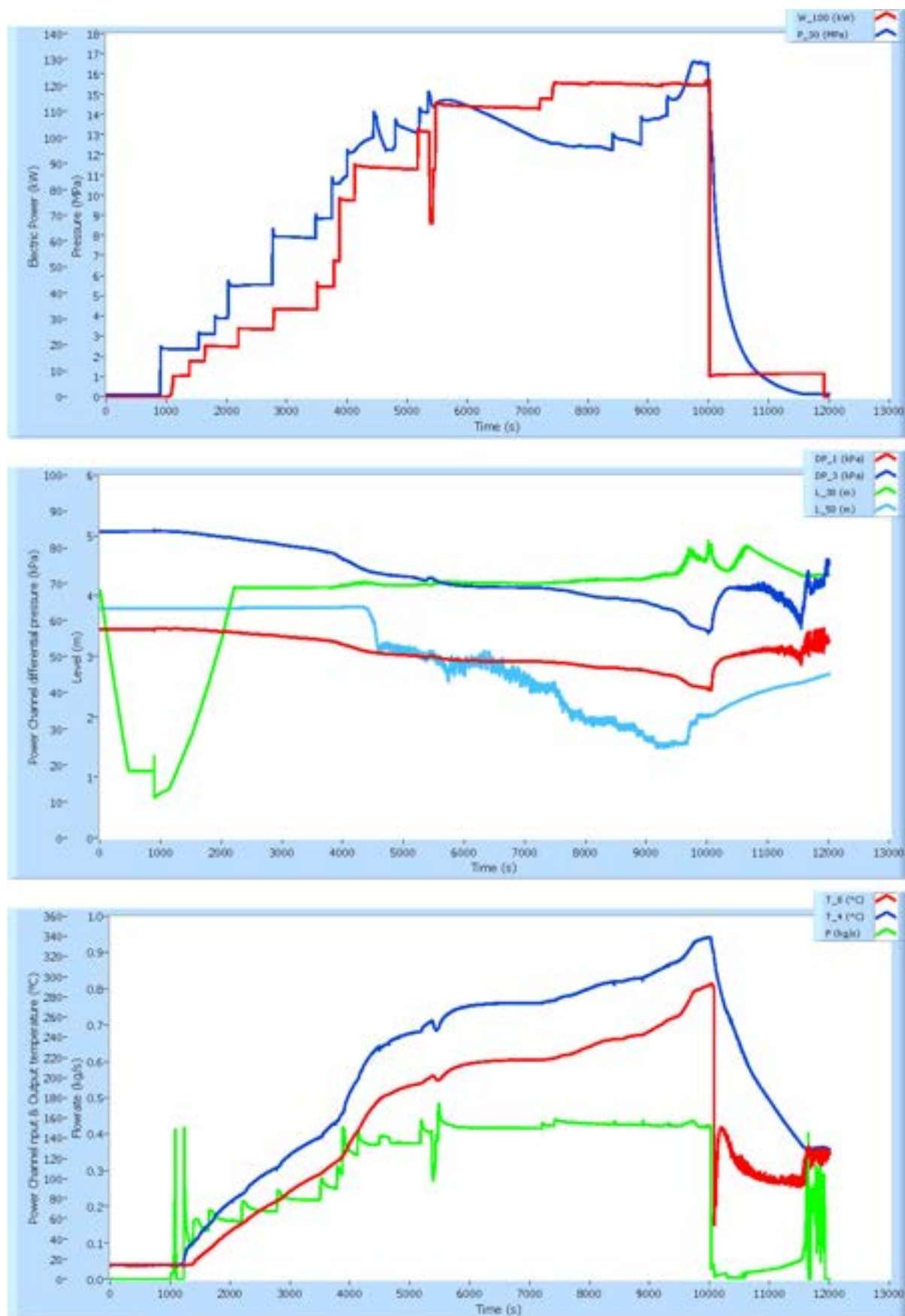


Test 2012-03-30_13.15 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 55 - Test 22 : Principali grandezze termoidrauliche



Figura 56 - Test 22 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-02_10.00 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 57 - Test 23 : Principali grandezze termoidrauliche

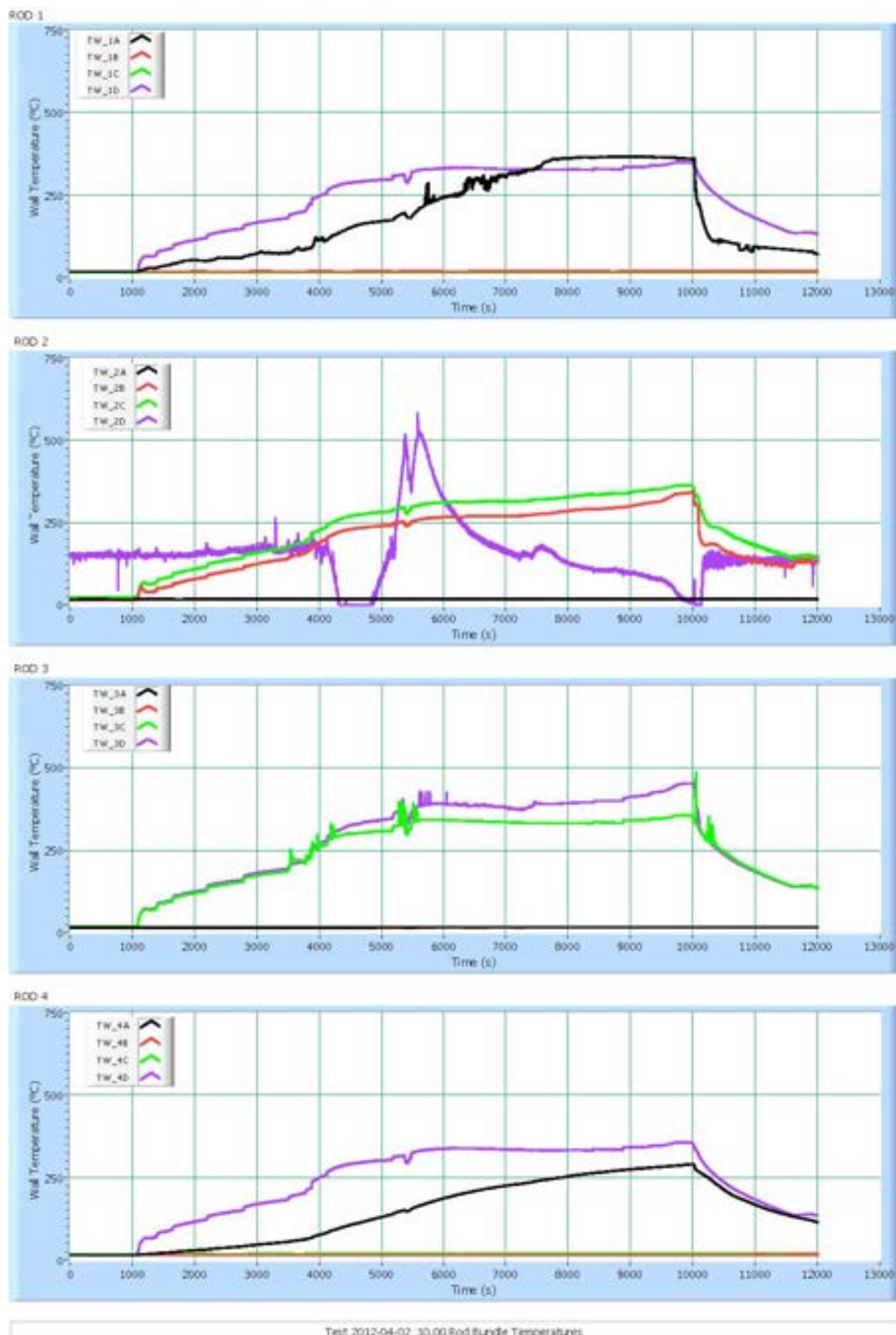
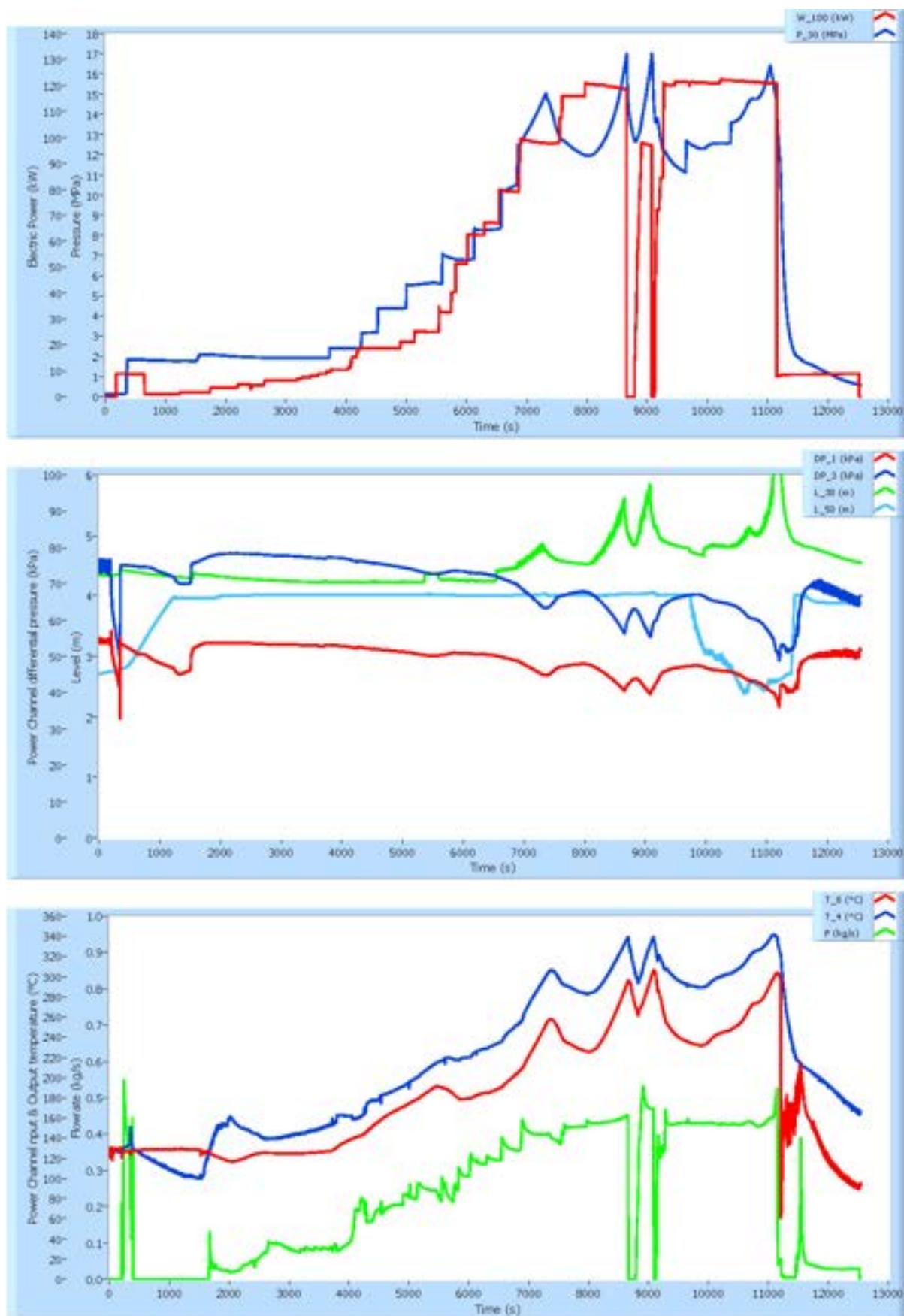


Figura 58 - Test 23 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-02_12.44 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 59 - Test 24 : Principali grandezze termoidrauliche

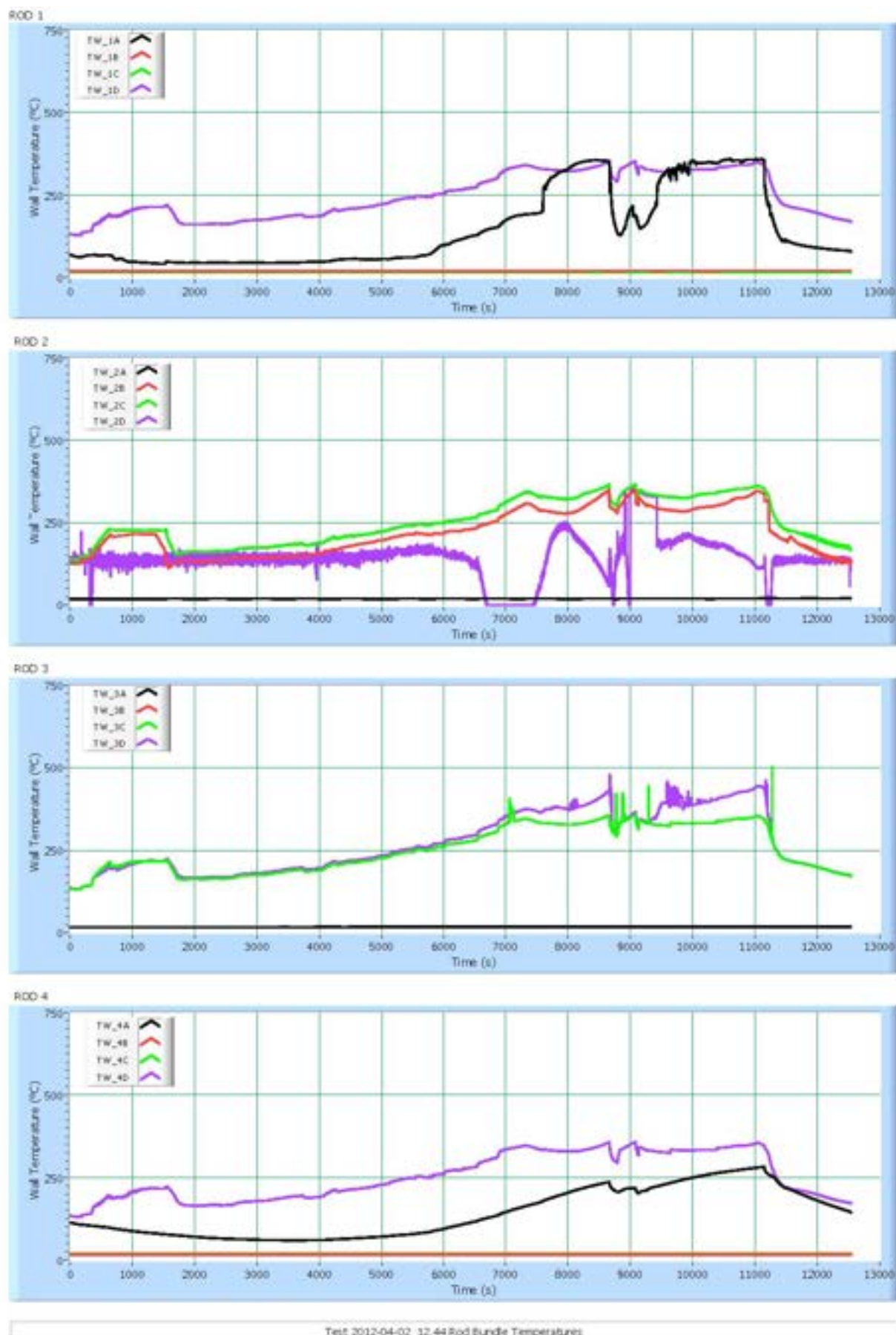


Figura 60 - Test 24 : Temperature di parete delle barre scaldanti

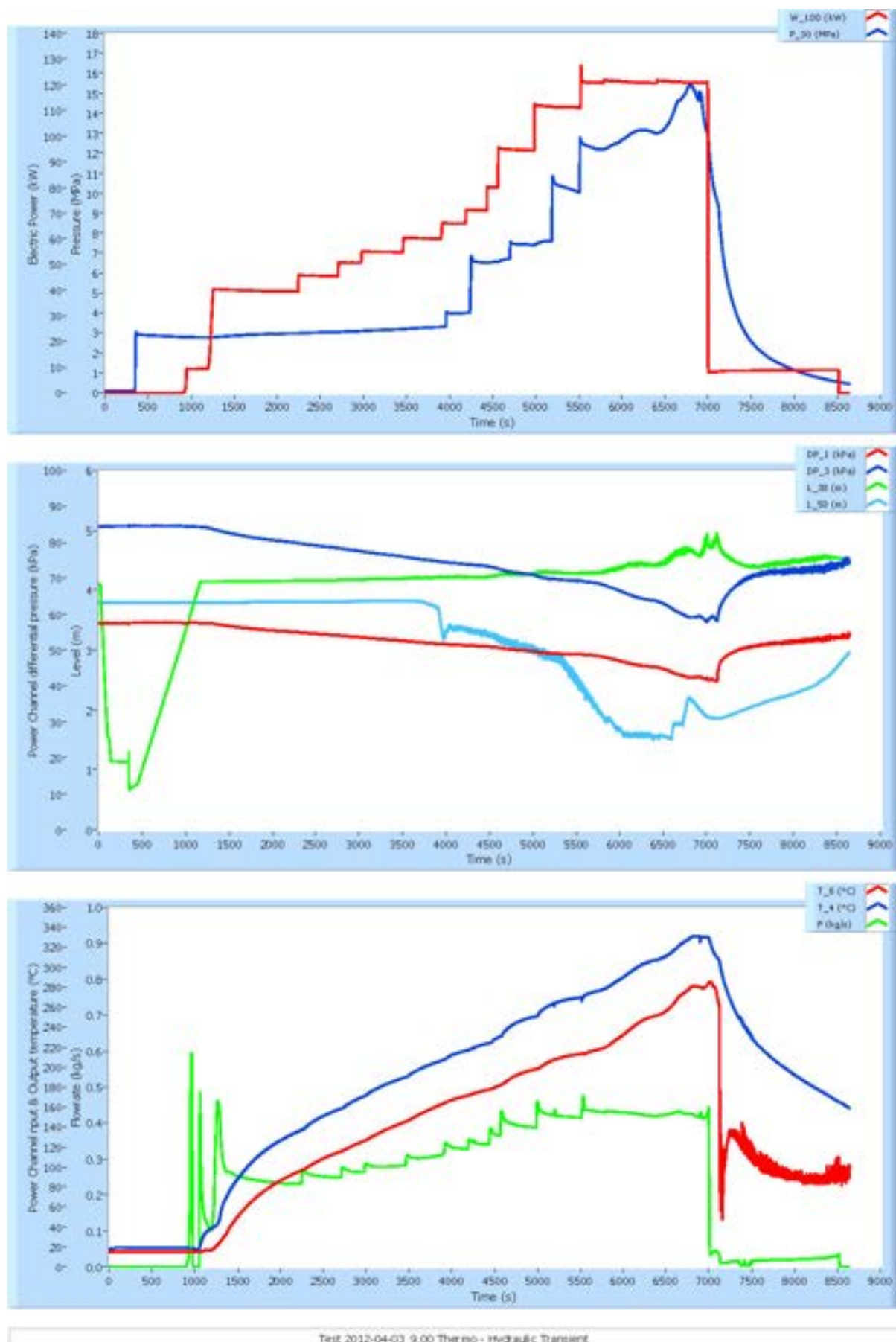


Figura 61 - Test 25 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-04-03_9.00 Rod Bundle Temperatures

Figura 62 - Test 25 : Temperature di parete delle barre scaldanti



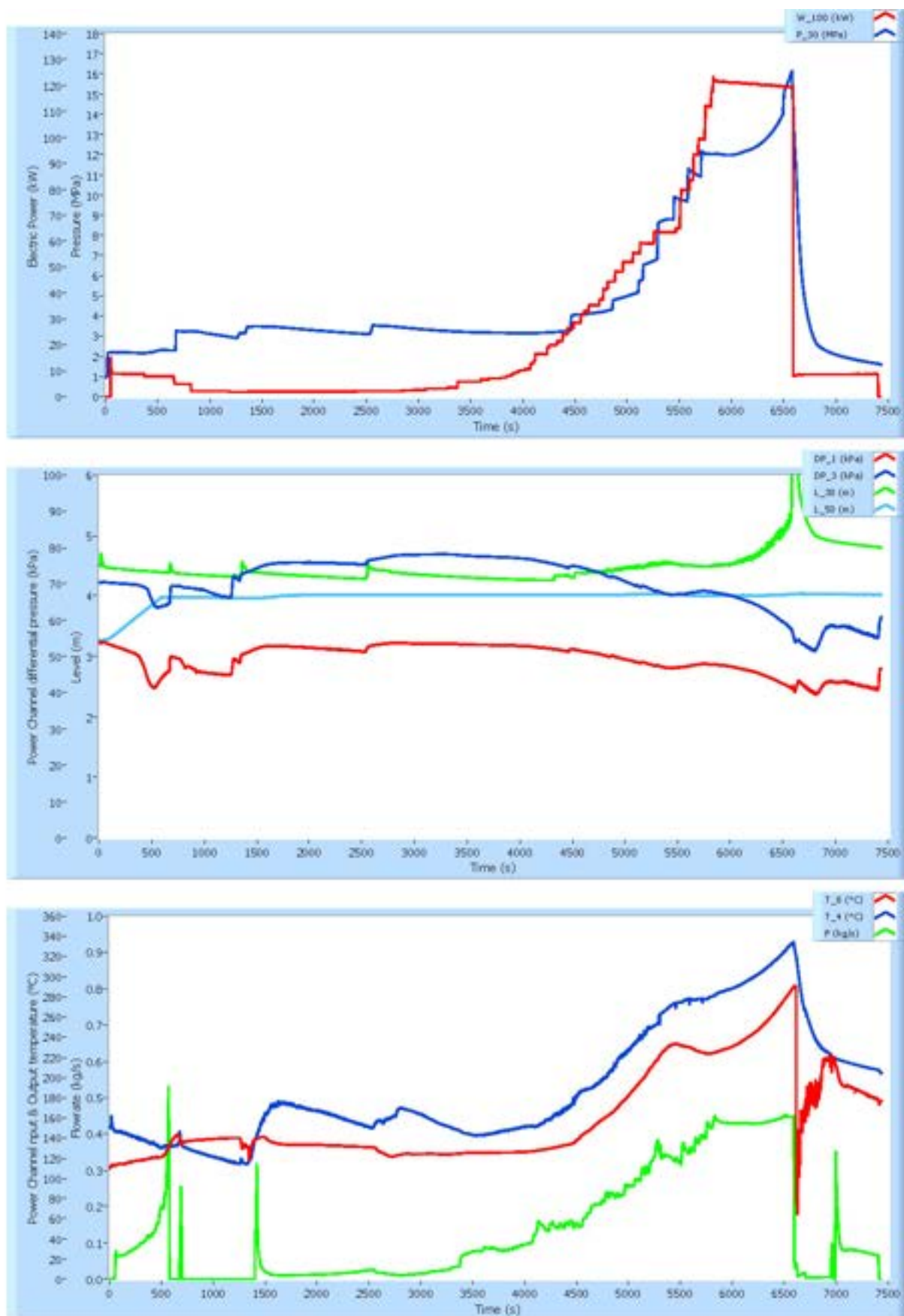
Test 2012-04-03_11.23 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 63 - Test 26 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-04-03_11.23 Rod Bundle Temperatures

Figura 64 - Test 26 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-03_14.10 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 65 - Test 27 : Principali grandezze termoidrauliche

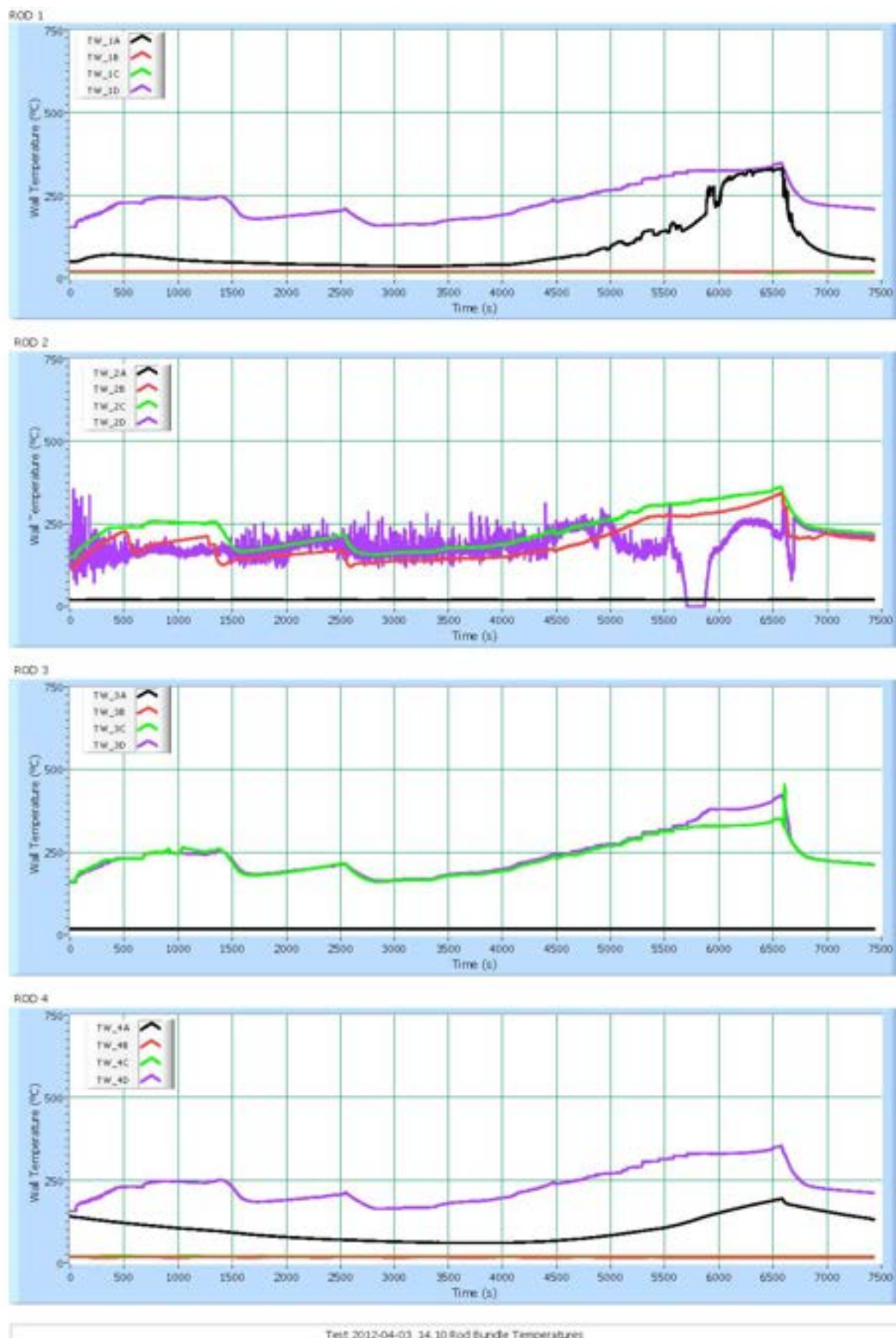
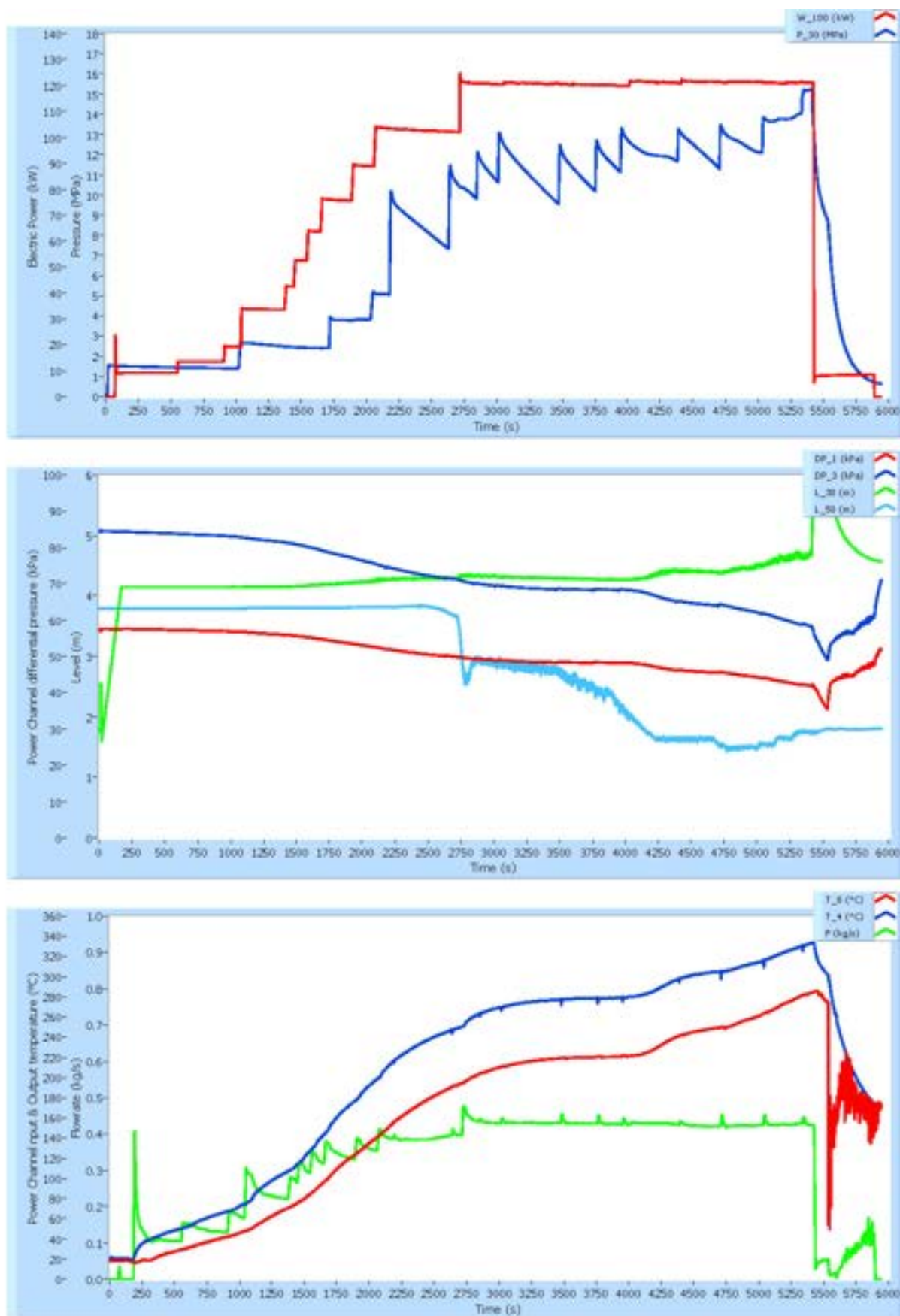


Figura 66 - Test 27 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-04_B-53 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 67 - Test 28 : Principali grandezze termoidrauliche

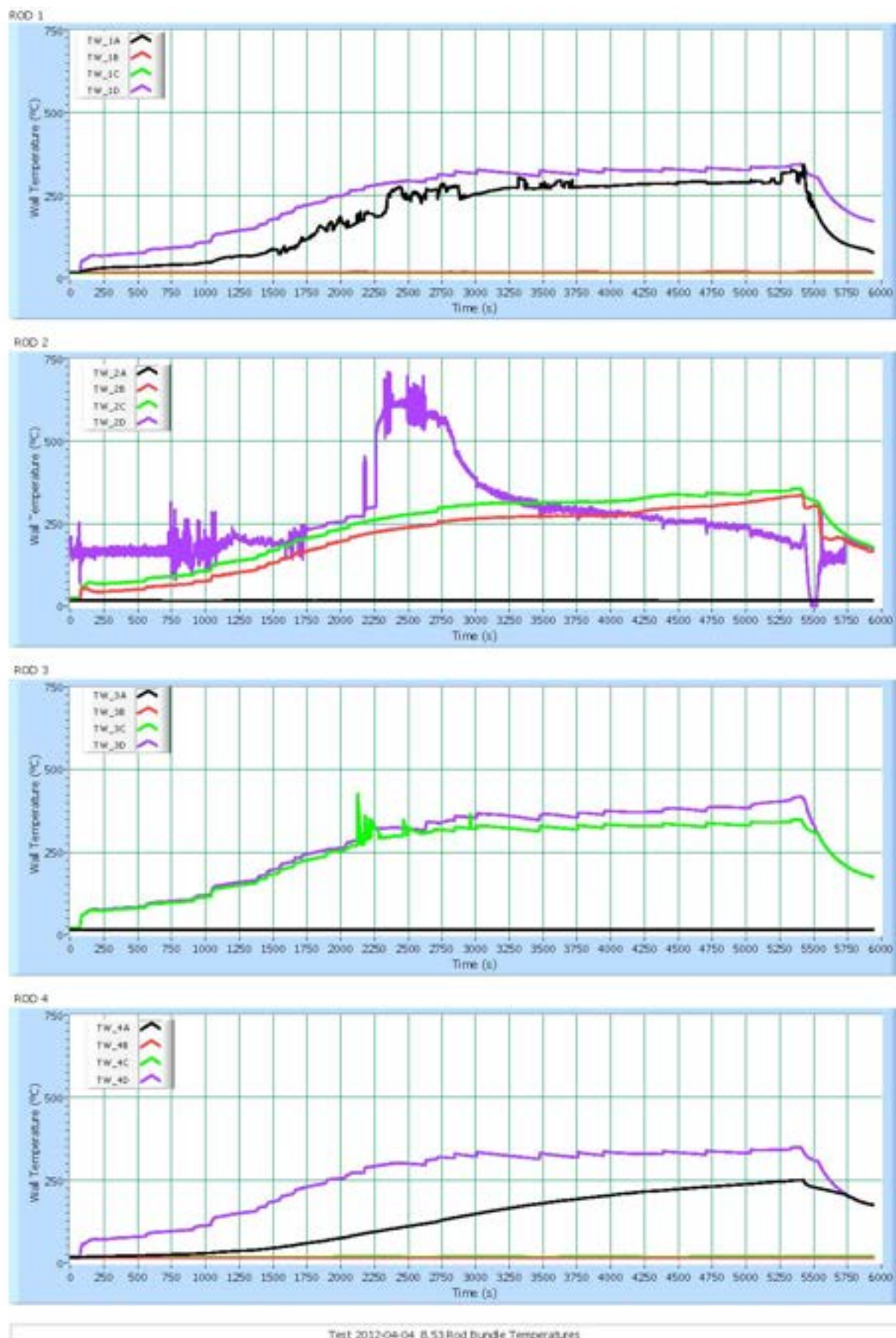
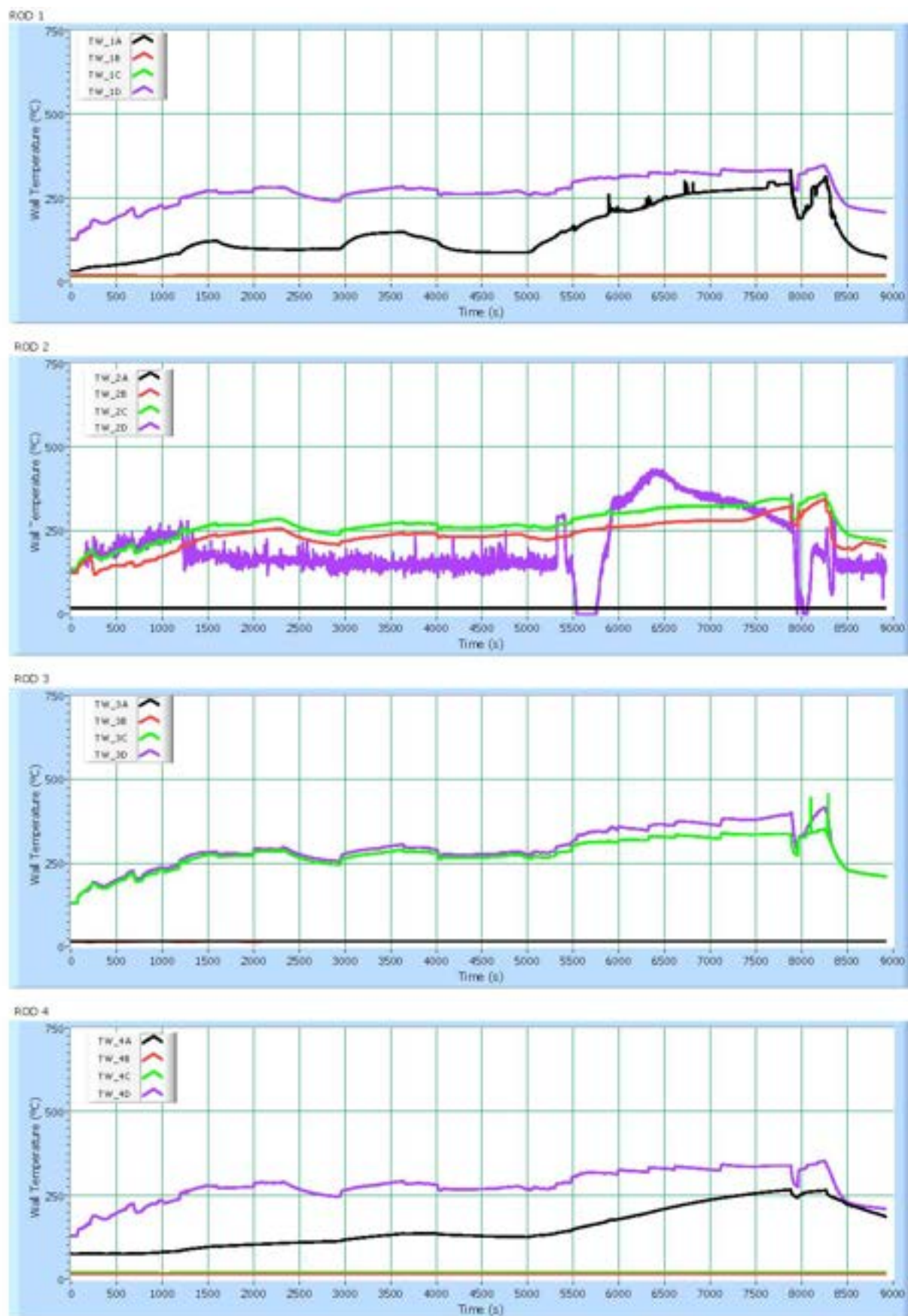


Figura 68 - Test 28 : Temperature di parete delle barre scaldanti



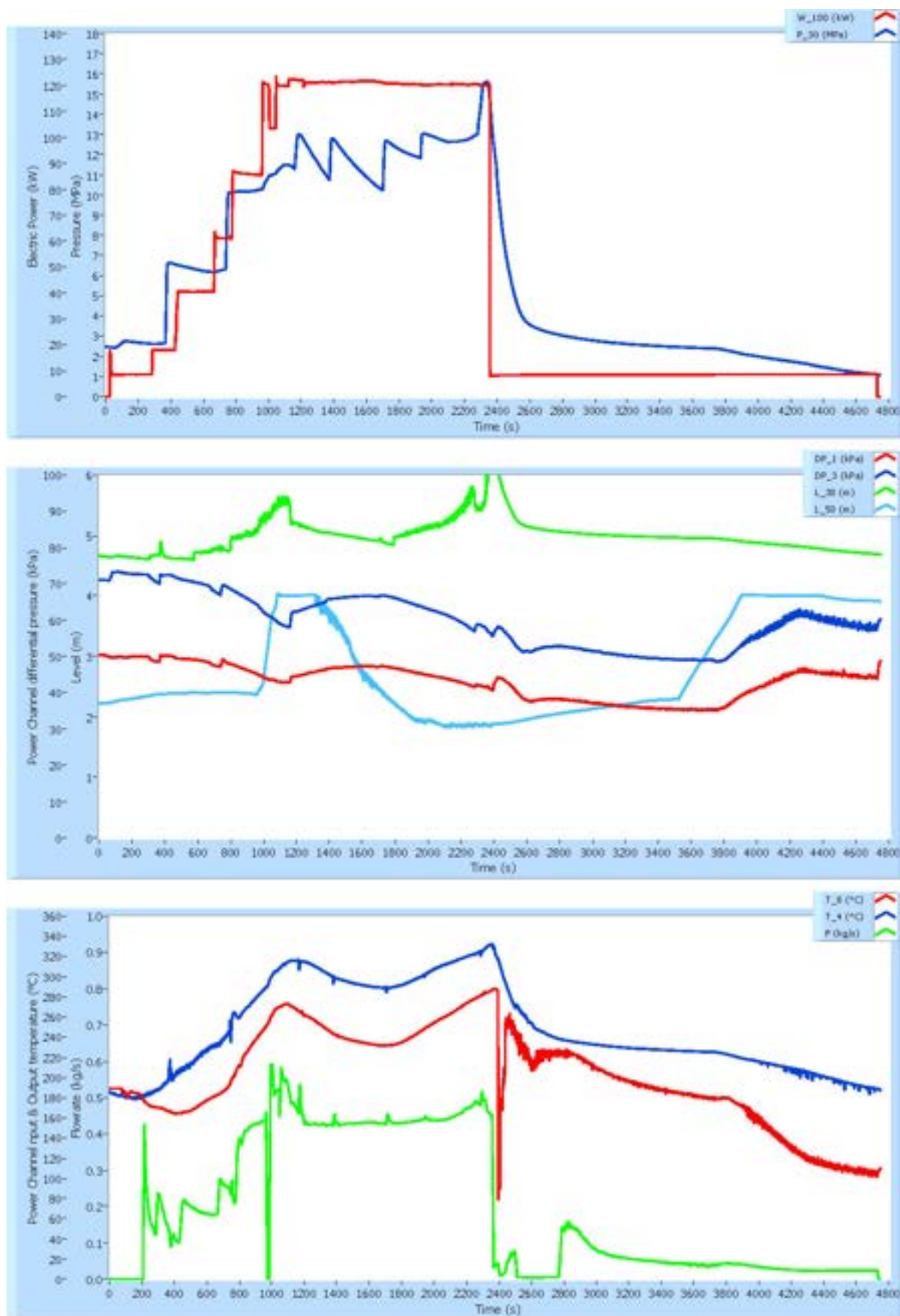
Test 2012-04-04_11.12 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 69 - Test 29 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-04-04_11.12 Rod Bundle Temperatures

Figura 70 - Test 29 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-04_14.51 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 71 - Test 30 : Principali grandezze termoidrauliche

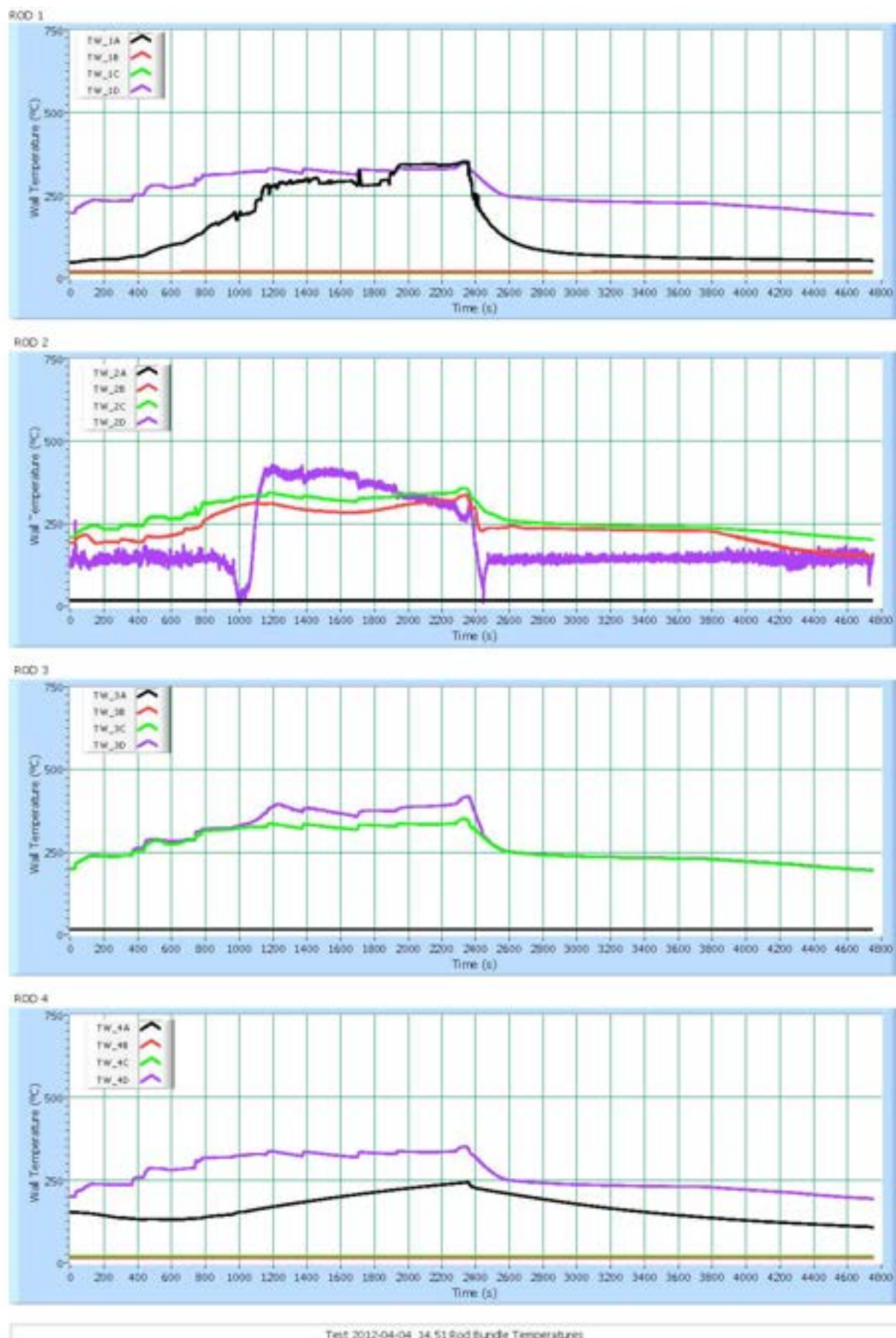


Figura 72 - Test 30 : Temperature di parete delle barre scaldanti

13.3. Low Power Test

Queste prove sono finalizzate allo studio della possibile condizione di crisi termica a bassa pressione.

Questi test si eseguono con l'impianto pieno di acqua in condizioni sottoraffreddate e alimentando le barre al 7 % del valore nominale di potenza. Le prove si concludono al raggiungimento del valore massimo di temperatura regolato tra 600°C e 700°C. Per ulteriori dettagli sulle modalità operative si rimanda al paragrafo 12.1.

L'elenco delle prove eseguite e l'identificativo del relativo file di acquisizione sono riportati in Tabella 11.

Dettagli e commenti su tali prove sono riportati in Tabella 42.

#	Figure di riferimento	Commenti sui test
31	Figure 73 e 74	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
32	Figure 75 e 76	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
33	Figure 77 e 78	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
34	Figure 79 e 80	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura

Tabella 42 - Dettagli sui "Low power test"

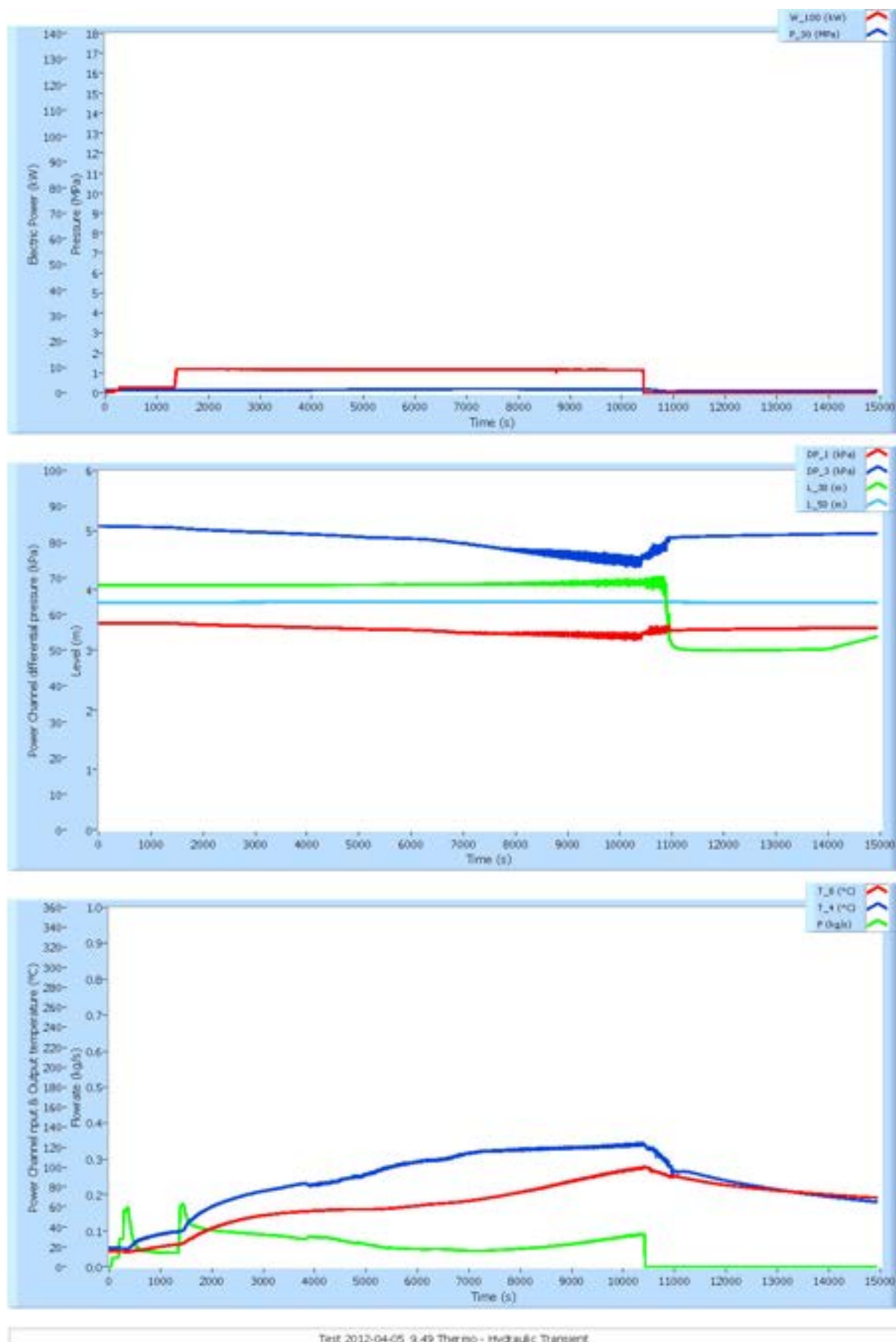


Figura 73 - Test 31 : Principali grandezze termoidrauliche

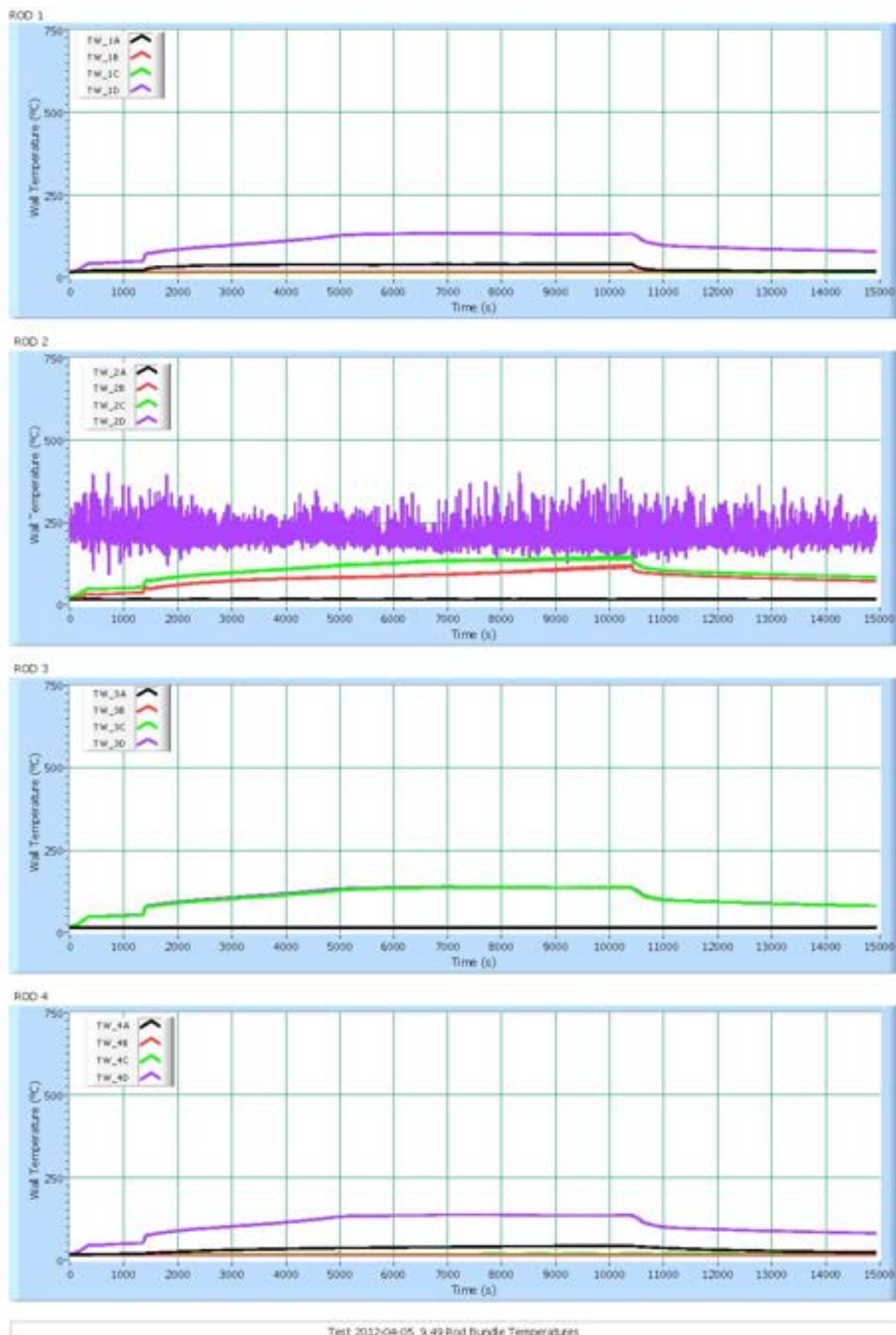
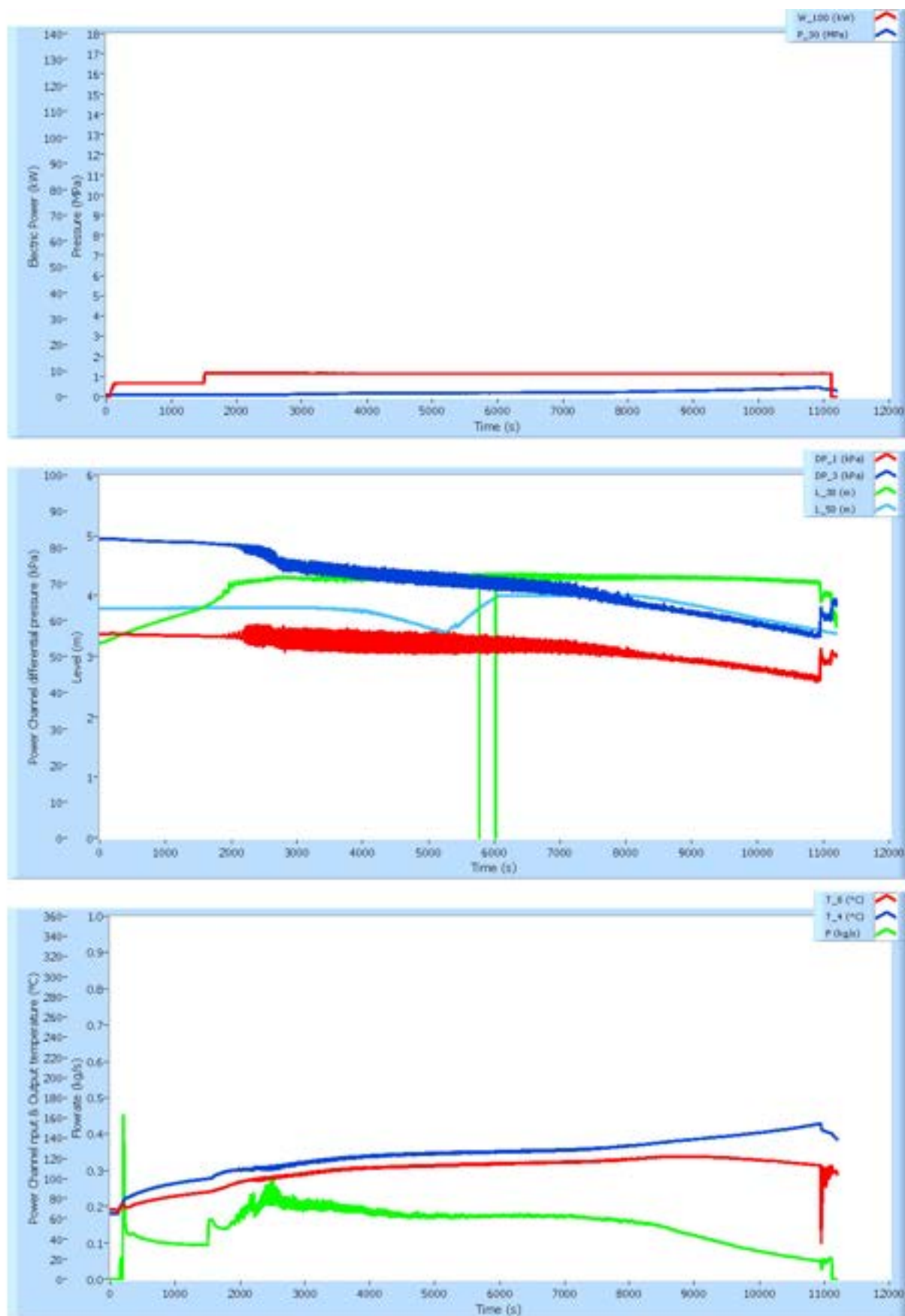


Figura 74 - Test 31 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-05_13.57 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 75 - Test 32 : Principali grandezze termoidrauliche

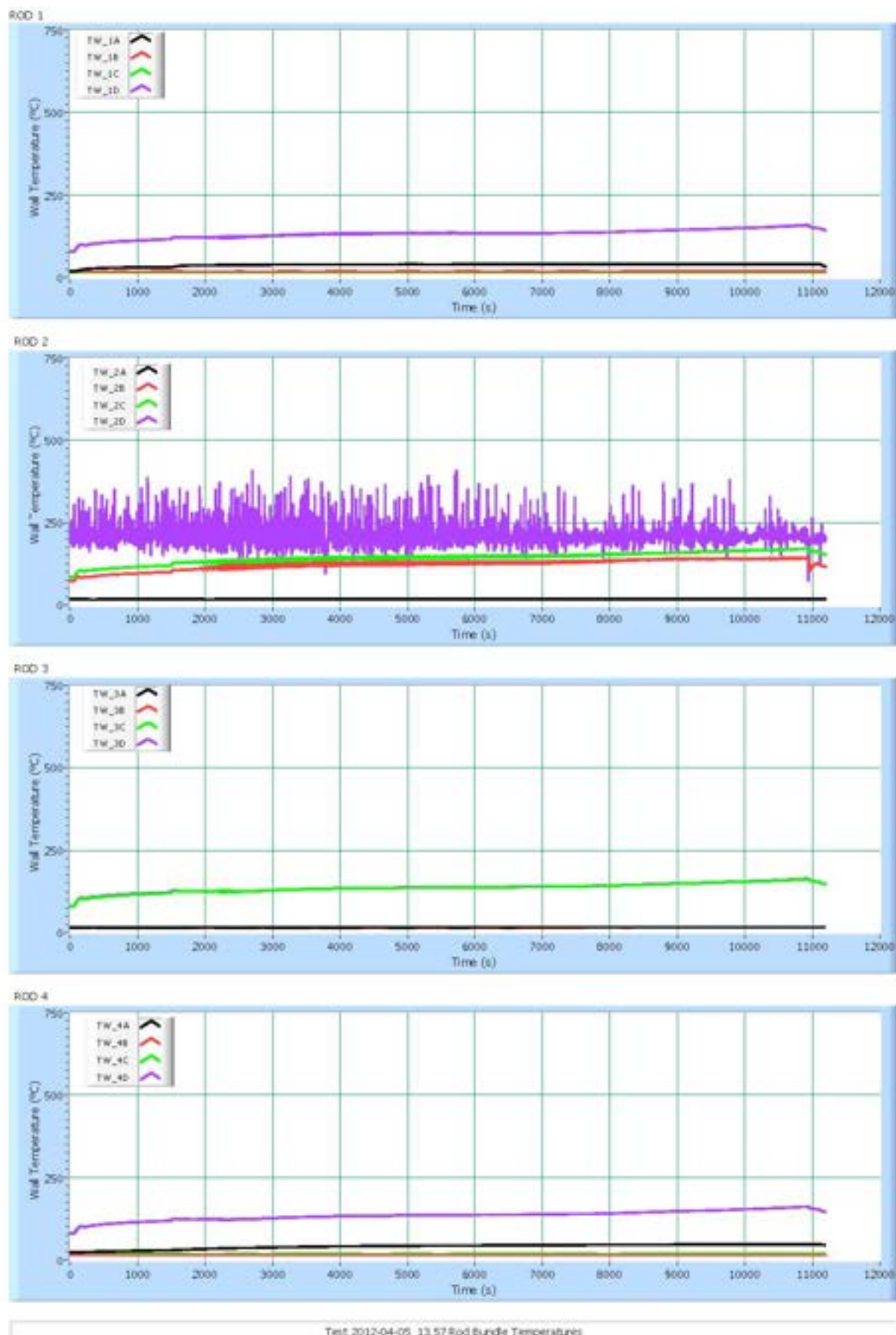


Figura 76 - Test 32 : Temperature di parete delle barre scaldanti

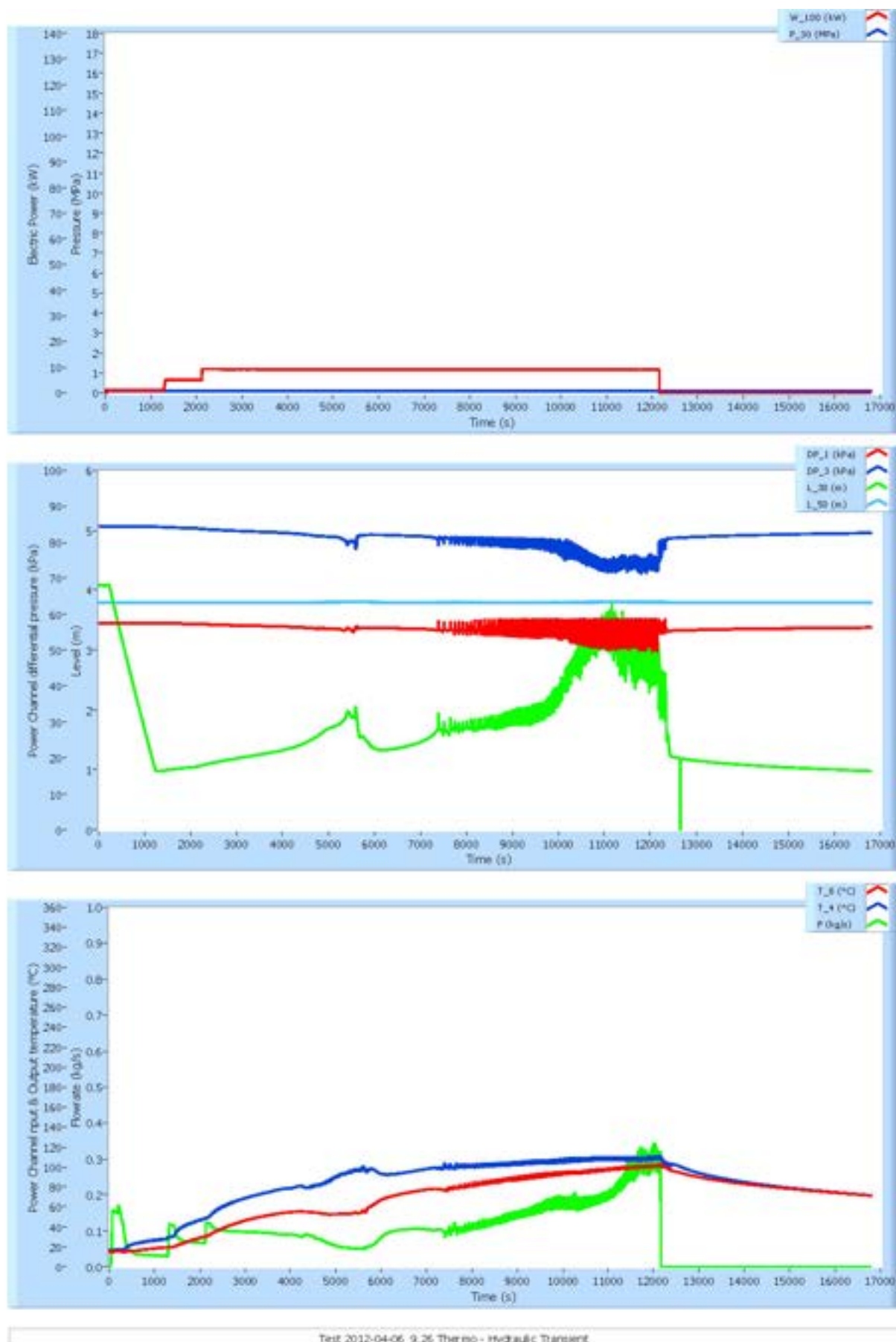


Figura 77 - Test 33 : Principali grandezze termoidrauliche

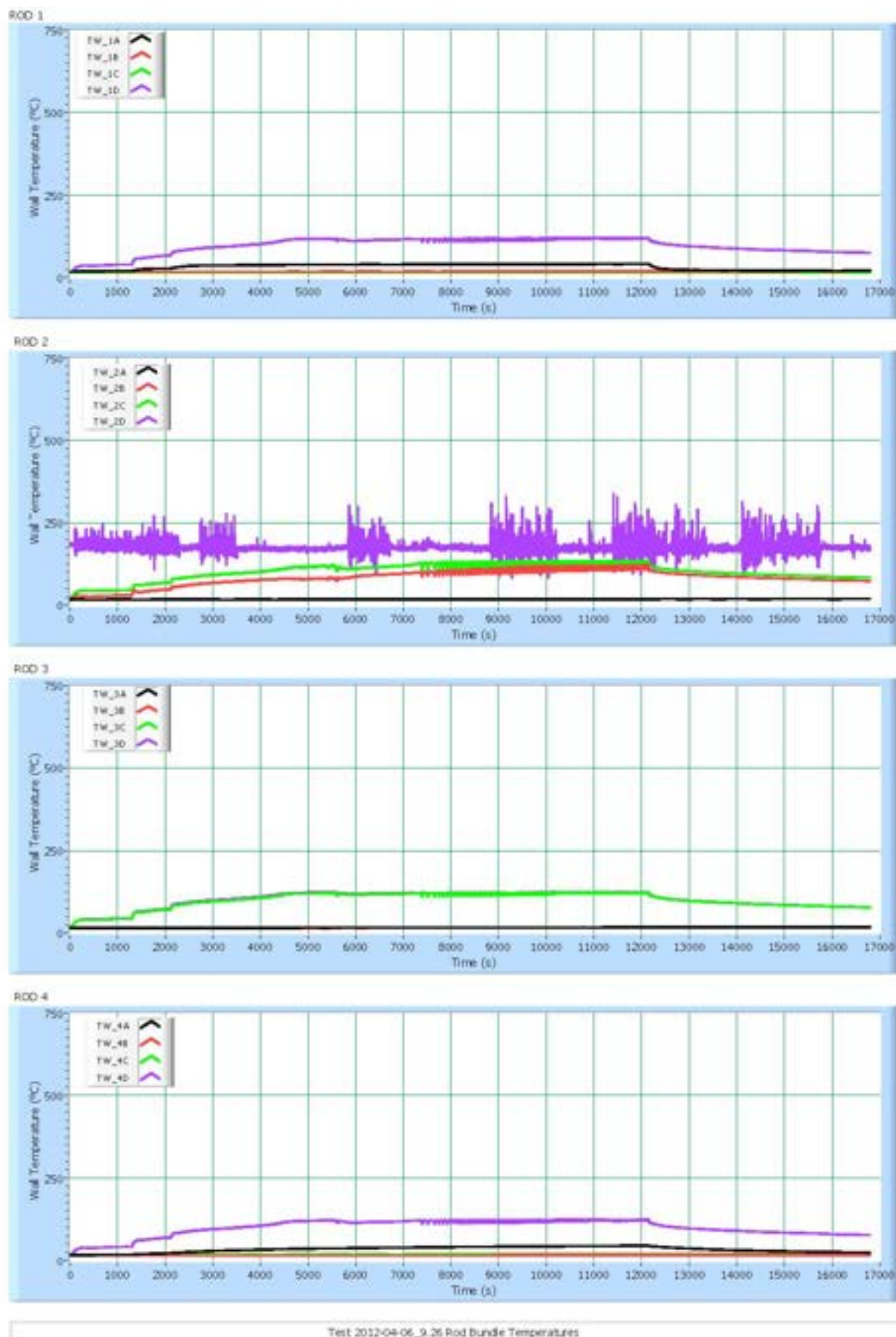
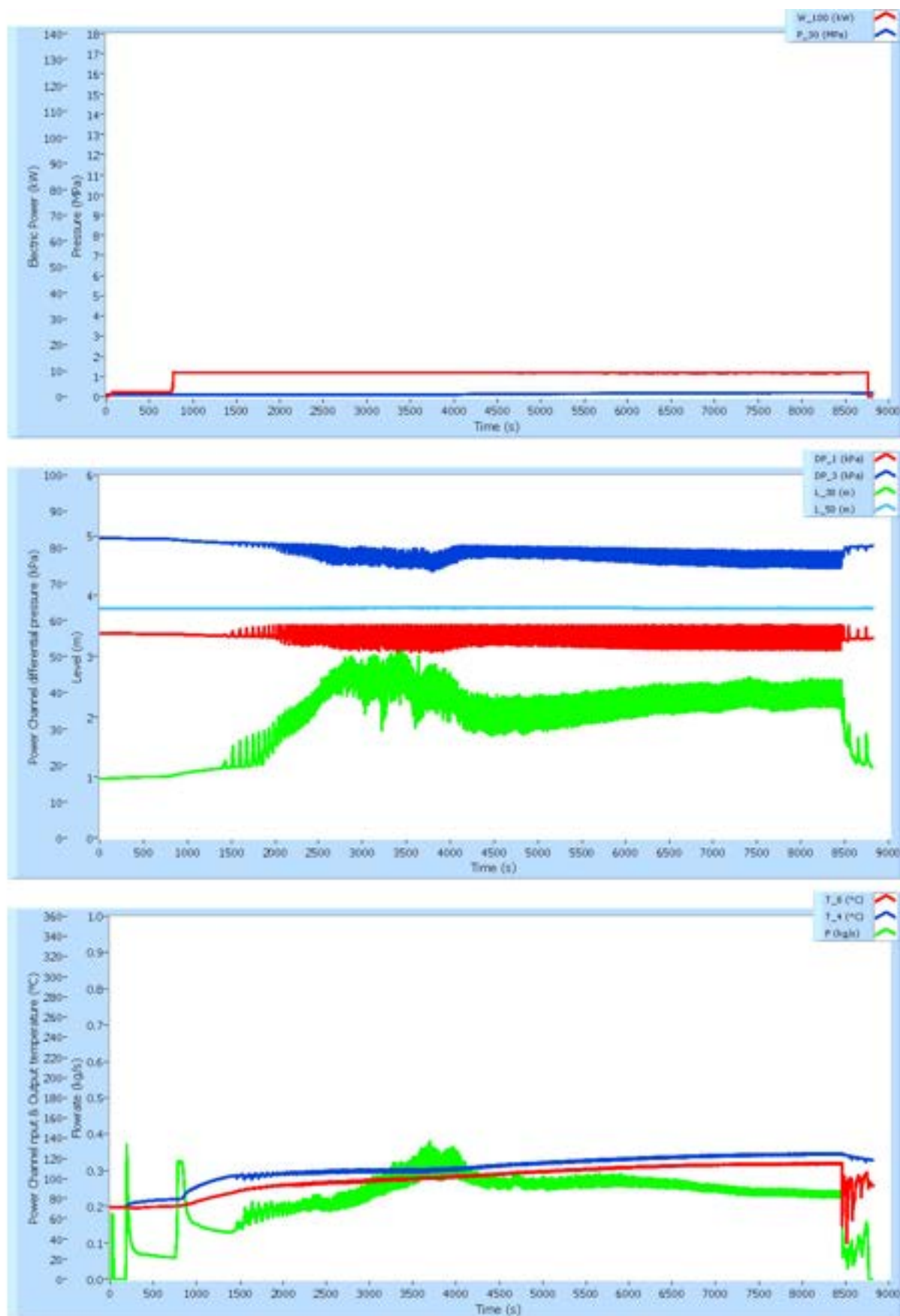


Figura 78 - Test 33 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-06_14.06 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 79 - Test 34 : Principali grandezze termoidrauliche

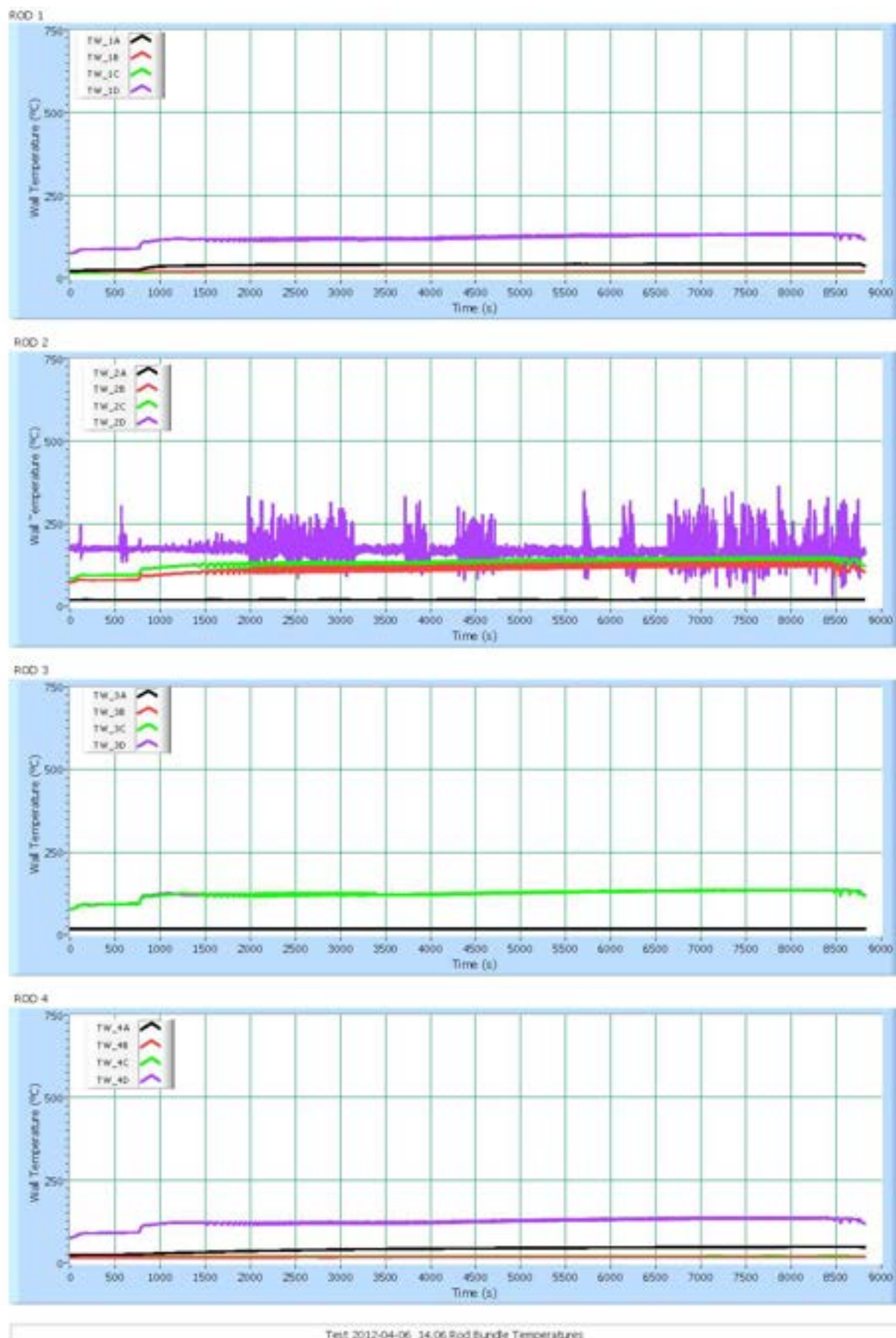


Figura 80 - Test 34 : Temperature di parete delle barre scaldanti

13.4. Endurance and Stress Test

Come già affermato, queste prove simulano sia la condizione di esercizio prolungato in condizioni nominali sia la condizione di crisi termica a bassa pressione.

Ciascuna prova consiste nel mantenere l'impianto alle condizioni nominali per un tempo variabile da 3600s a 7200s e nel provocare il surriscaldamento locale nel canale di potenza evidenziato dalle misure di temperatura di parete delle barre. Per ulteriori informazioni sulle modalità operative si rimanda al paragrafo 12.1.

L'elenco delle prove eseguite e l'identificativo del relativo file di acquisizione sono riportati in Tabella 11.

Nella Tabella 43 e nella Tabella 44 sono riportate le informazioni in formato numerico, relative alle condizioni termoidrauliche principali nei sessanta secondi precedenti il transitorio di pressione e temperatura.

Dettagli e commenti su tali prove sono riportati in Tabella 45.

Test n°	35			
File	2012-04-12_9.04.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.37	-0.82
W_100	kW	121.494	121.37	-0.10
T4	°C	316	332.58	5.25
T8	°C	278	282.45	1.60
F_20	kg/s	0.54	0.40	-25.10
L_50	m	3.95	1.46	-63.13
R_100	mΩ	132.77	147.78	11.31

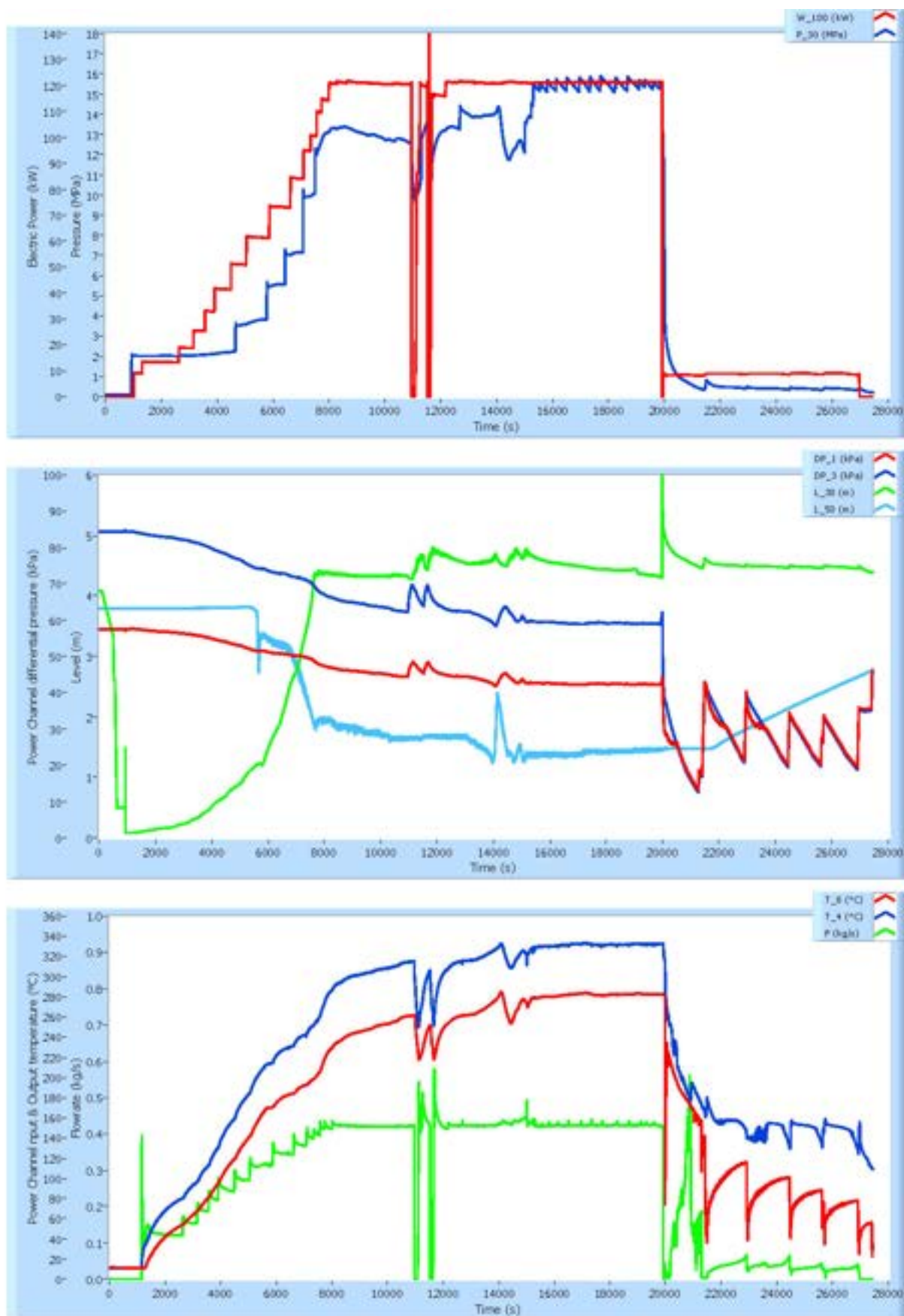
Tabella 43 - Test n 35 : valori nominali prima del trip

Trip n°	36			
File	2012-04-13_8.46.xls			
	U.M.	Val. nom. (N)	Val. eff. (E)	(E-N)/Nx100 (%)
P_30	MPa	15.5	15.30	-1.30
W_100	kW	121.494	120.87	-0.52
T4	°C	316	327.04	3.49
T8	°C	278	275.70	-0.83
F_20	kg/s	0.54	0.41	-24.93
L_50	m	3.95	1.50	-62.09
R_100	mΩ	132.77	146.59	10.41

Tabella 44 - Test n 36 : valori nominali prima del trip

#	Figure di riferimento	Commenti sui test
35	Figure 81 e 82	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura
36	Figure 83 e 84	termocoppie TW_1B, TW_1C, TW_2A, TW_3A, TW_3B, TW_4B, TW_4C isolate; termocoppia TW_2D rotta; test eseguito secondo procedura

Tabella 45 - Dettagli sugli "Endurance and stress test"



Test 2012-04-12_9.04 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 81 - Test 35 : Principali grandezze termoidrauliche

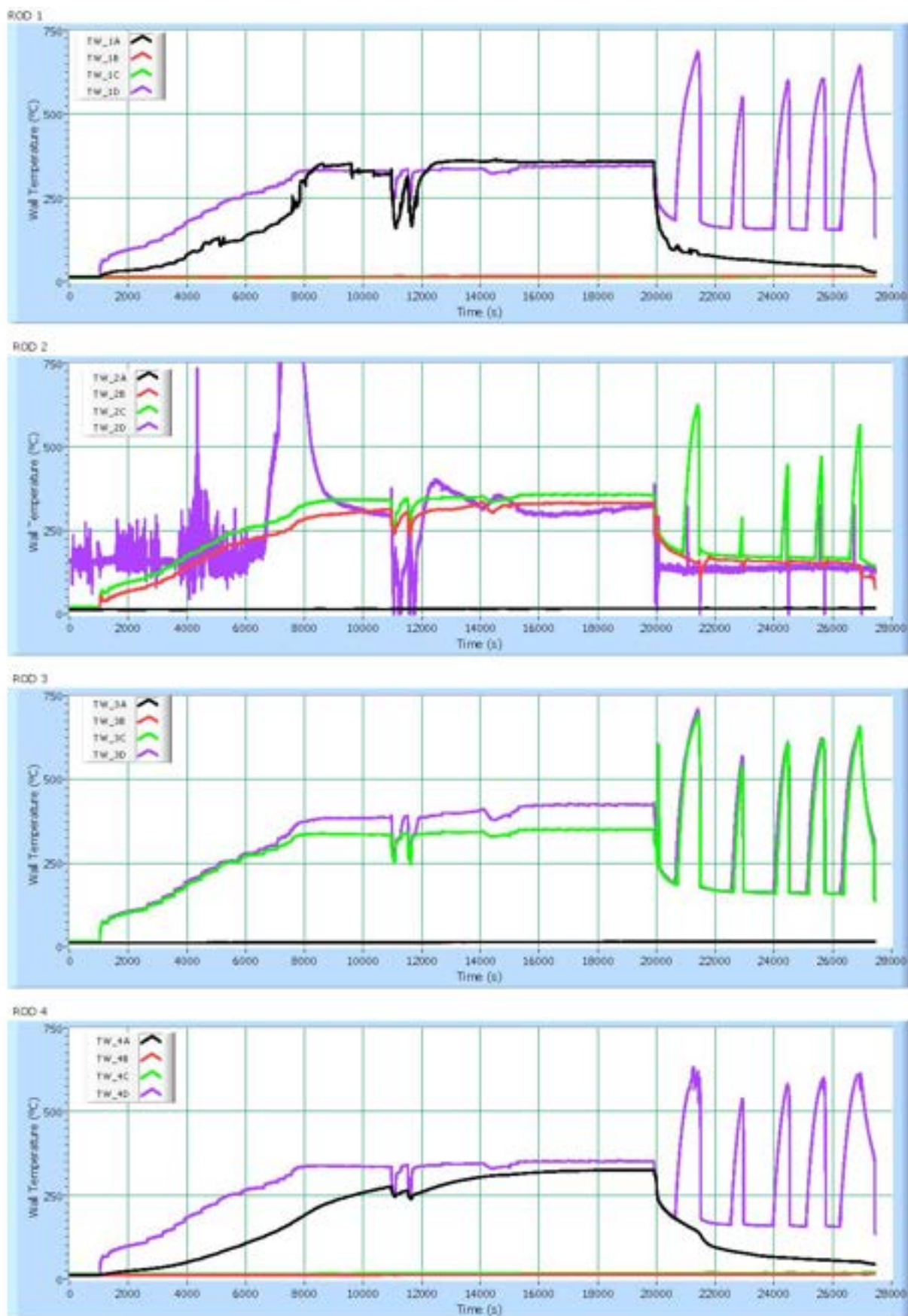
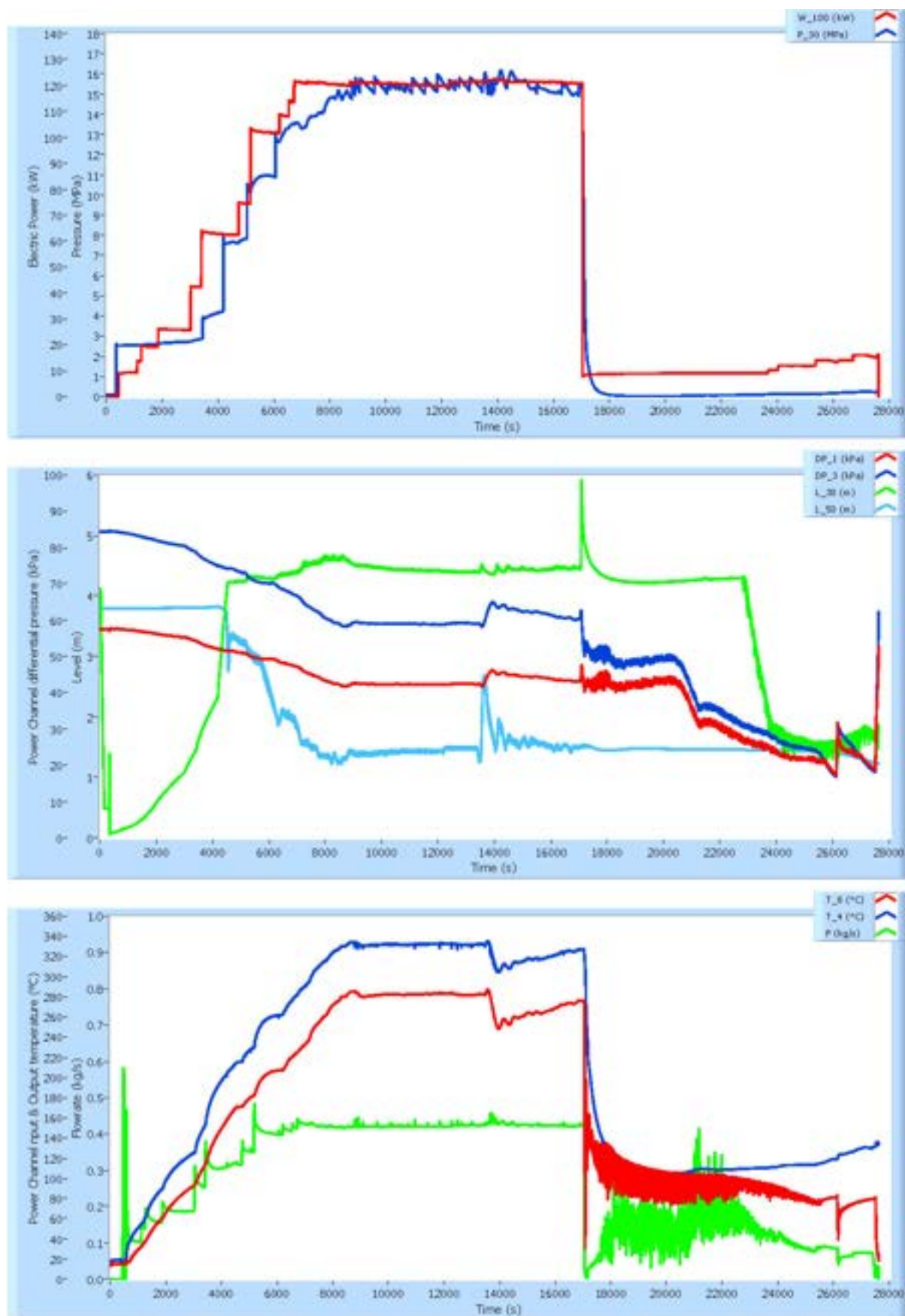
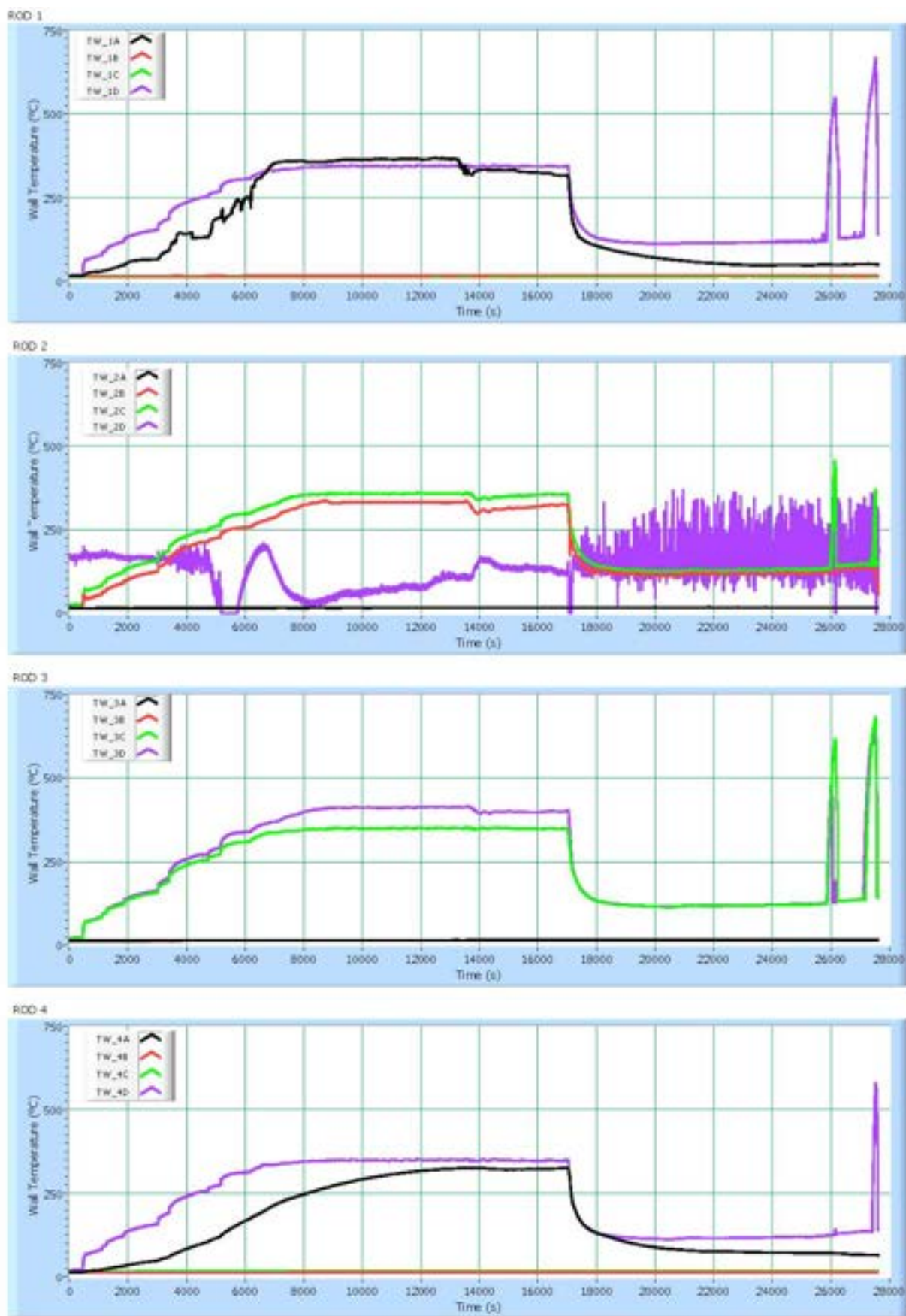


Figura 82 - Test 35 : Temperature di parete delle barre scaldanti



Test 2012-04-13_B-46 Thermo - Hydraulic Transient

Figura 83 - Test 36 : Principali grandezze termoidrauliche



Test 2012-04-13_0.46 Rod Bundle Temperatures

Figura 84 - Test 36 : Temperature di parete delle barre scaldanti

14. CONCLUSIONI

La sperimentazione sulle barre Thermocoax ha evidenziato aspetti sia positivi che negativi.

La resistenza elettrica equivalente del fascio di barre all'avvio di ogni prova (quindi a barre fredde) è di circa 133mΩ e a piena potenza (121kW) circa 147 mΩ. Una variazione di resistenza di 14mΩ può essere considerata eccellente per l'esercizio di un impianto sperimentale come SPES 3. In particolare la stabilità elettrica degli elementi scaldanti, in funzione della loro temperatura di guaina, influenza il valore di potenza elettrica erogato dai generatori di potenza che hanno sia un limite massimo di tensione sia un limite massimo di corrente elettrica. I valori di variazione media della resistenza elettrica del fascio, rilevati in fase sperimentale, sono tali da comportare una variazione del 5% sia del valore di corrente sia del valore di tensione entrambi entro i limiti tecnici dei generatori di potenza.

Le soluzioni di inserire le termocoppie in quattro cave assiali ricavate lungo la parete esterna ha dimostrato una scarsa affidabilità.

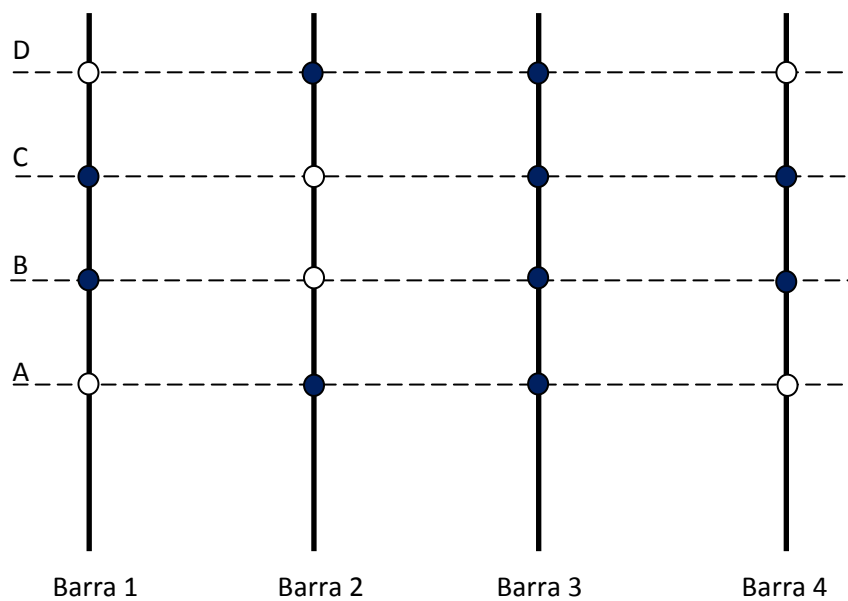
Ognuna delle quattro barre è dotata di quattro termocoppie brasate sulla guaina; pertanto durante la sperimentazione sono state provate sedici termocoppie.

Dieci termocoppie di parete sono state completamente danneggiate o hanno dato misure fisicamente non realistiche.

La tecnologia di installazione di queste termocoppie non può essere considerata affidabile per impieghi sull'impianto SPES 3.

E' probabile che la tecnica di posa adottata da Thermocoax, con le termocoppie esposte all'esterno della guaina, le renda particolarmente soggette a subire microscopiche incisioni durante le manipolazioni necessarie per il montaggio.

Nello schema riportato sono rappresentate con spessore elevato le quattro barre, con linee tratteggiate le posizione assiali delle termocoppie e con dei cerchi le termocoppie danneggiate e ancora funzionanti.



- termocoppia danneggiata/malfunzionante
- termocoppia funzionante

15. RIFERIMENTI

- [1] A. Achilli, S. Gandolfi, R. Ferri - Rod characteristics rev.7 – SIET, Piacenza 6-11-2009.
- [2] M. Greco – Elemento scaldante del pressurizzatore. file “HeaterPRZ_SpecificaTecnica” SIET Febbraio 2010.
- [3] C. Congiu, M. Greco: Impianto prova barre – Progetto esecutivo: caratteristiche e dimensionamento. SIET 01 510 ST 09 rev0, Piacenza 18-12-2009.
- [4] C. Congiu, M. Greco: Realizzazione circuito prova barre. SIET 01 619 RT 10 rev0, Piacenza 17-09-2010.
- [5] Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross section conduits running full – Part 4: Venturi tubes (ISO 5167-4:2003).
- [6] G. Tortora, S. Gandolfi – Verifica sperimentale di prototipi di barre scaldanti per l'impianto SPES 3 - SIET 01 725 RP Rev.0

Allegato 1 Estratto del manufacturing report

THERMOCOAX						N° EC2000R050	
Soc Commercial - Commercial Dept : 43 Rue Henri Bellet F 92116 SURESNES Cedex Tel : +33 (0)1 41 38 60 50 Fax : +33 (0)1 41 38 60 70 http : //www.thermocoax.com		Siège Social - Head Office : Parcson - 81430 ATHIS DE L'ORNE France BP 25 - F 61438 FLERS Cedex Tel : +33 (0)2 33 52 81 00 Fax : +33 (0)2 33 52 81 09 e-mail : Planquillon@thermocoax.fr		THERMOCOAX S. A. S. au capital de 457 500 € RCS COMME SURMORREAU S 323 459 925 N° Identification - VAT N° : CEE FR 32 323 459 925		Page : 1/	
FINAL REPORT AFTER MANUFACTURING						Diffusion : Date : 04/10/2011 Niveau : C	
FUEL PIN SIMULATORS						Documents annexes :	
IDENTIFICATION : N° A2RQ / 01-02-03-04						Référence THERMOCOAX : OF : C01000868 SAQ Code AQ : EC2000	
						Client : SIET SPA References : Contract: 8310 « Rod characteristics » rev.7 dated nov 6th 2009 DWG 074-00-01 rev.3	
Rév.	Date	Dact.	Auteur	Etudes	Ingénierie	Direction Technique	Assurance Qualité
1	04/10 2011	pbo	PBO	D. Lecharpentier	X. POTIRON	L. PICHON	P. GUILLON
							P. BOUTELOUP
							ASSURANCE QUALITÉ THERMOCOAX S.A.S.

T1002

Page	Designation	Reference	Issue	Nb Page
1	Final report after manufacturing (cover sheet)	EC2000R050	1	1
2	Final statement of documentation	EC2000R050/1	1	1
3	Statement of conformity	EC2000R050/2	1	1
4	Customer Order	83-10	/	1
5	Specifications (Drawings)	ARQ 01 to 04	A	4
9	Drawing : Fuel Pin simulator	303 262	A	1
10	Raw material list + reports	EC2000R050/3	1	7
17	Development quality plan	EC2000D007	1	9
26	Control Data Sheet	EC2000P100	/	8
34	Non-conformance report	FNC 2264	1	1
Number of pages				TOTAL : 34

T1002

FINAL STATEMENT OF DOCUMENTATION

Code			EC2000R050/1	Rév.	1
Date	Auteur	Page	04/10/11	PBO	1/1

THERMOCOAX

Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ni communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorisation of THERMOCOAX SAS.

1. DESCRIPTION OF GOODS

Fuel Pin Simulator as per offer B.020.A.01.10.IT REF.1PN000DB90245 8 (2 normal rods + 2 hot rods)

2. IDENTIFICATION OF GOODS

A2RQ/01 to 04

3. REFERENCE DOCUMENTATION

Final report after manufacturing n° EC2000R050 rev.1
AR THERMOCOAX: C01000868 SAQ
Development Quality plan: EC2000E007 rev.1
Fuel Pin Simulator drawing: 303 262 issue A

SIET order:

- 83-10 dated 23/03/2010

SIET Technical specification:

- « Rod characteristics » rev.7 dated nov 6th 2009

4. CONCLUSION

We hereby declare, barring exceptions, reservation, or exemptions listed in this statement of conformity, that listed supplies comply with the contract requirements and that, after completion of testing and verification, that completely satisfy all specified requirements, and applicable standards and regulation.

The manufacturing control of the heaters have been performed under the responsibility of MM. L.PICHON and P.GUILLON respectively responsible for manufacturing and quality assurance at THERMOCOAX.


L.PICHON
Technical Direction



P.GUILLON
Quality Assurance Manager

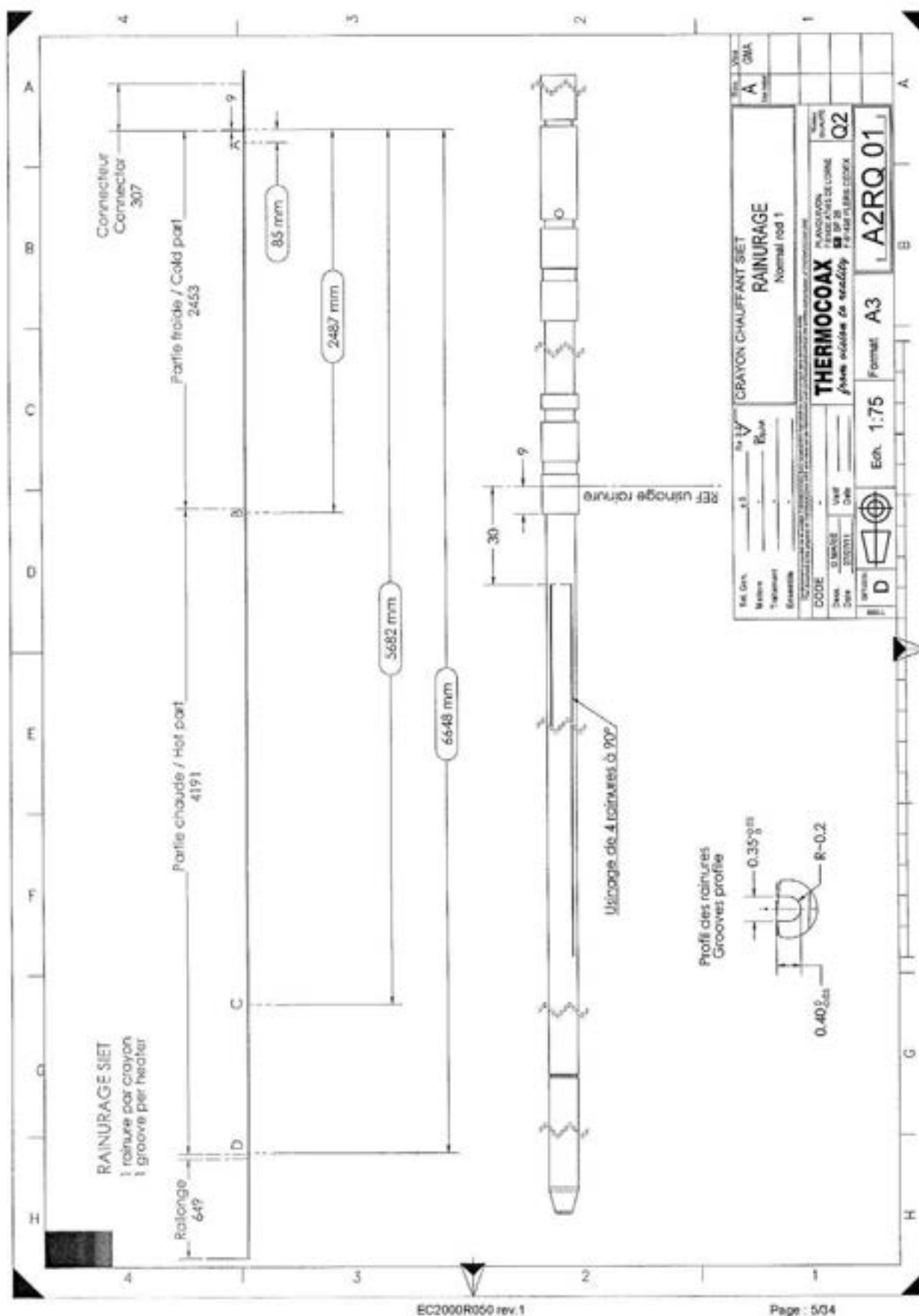
T1002

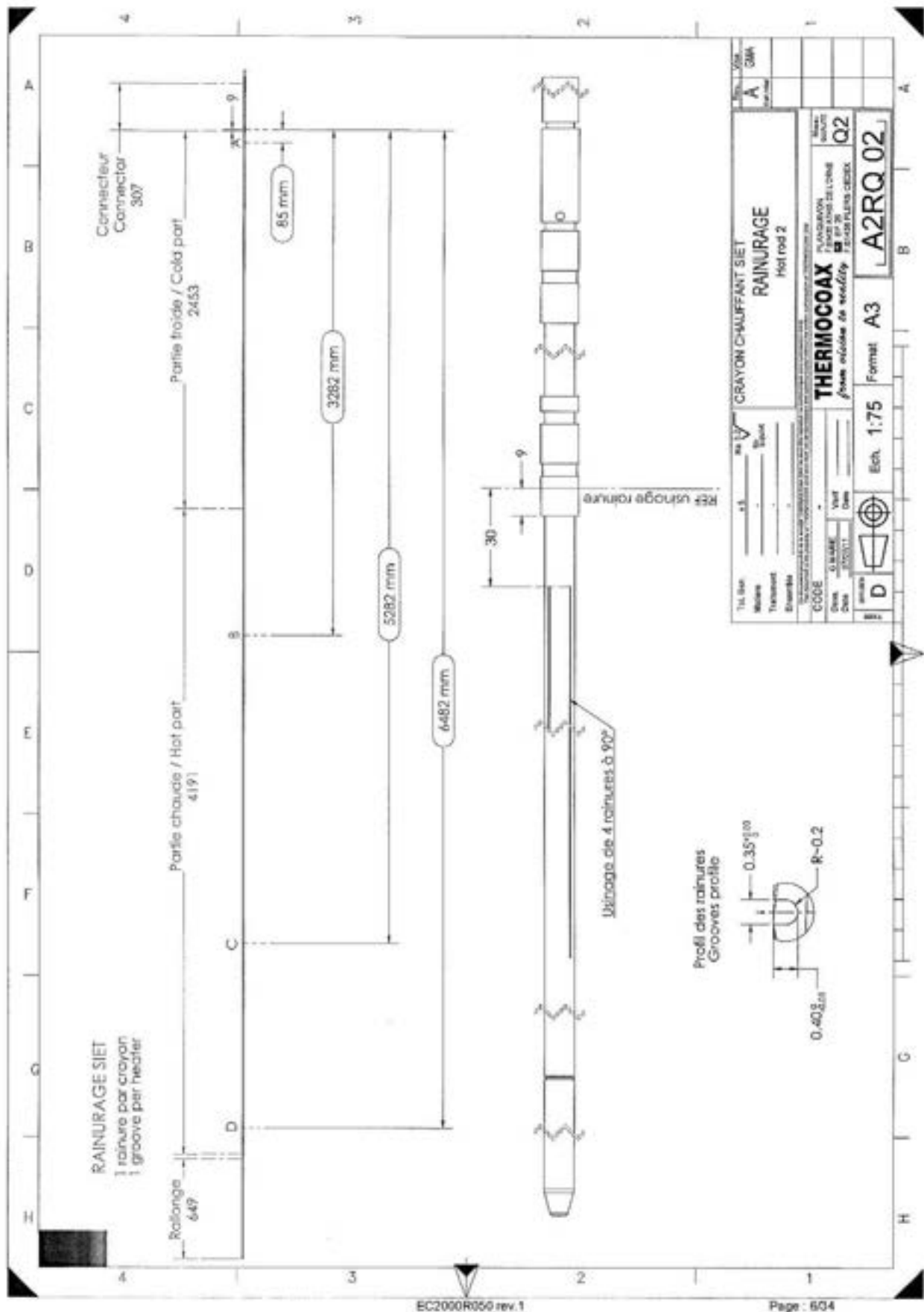
FINAL STATEMENT OF DOCUMENTATION

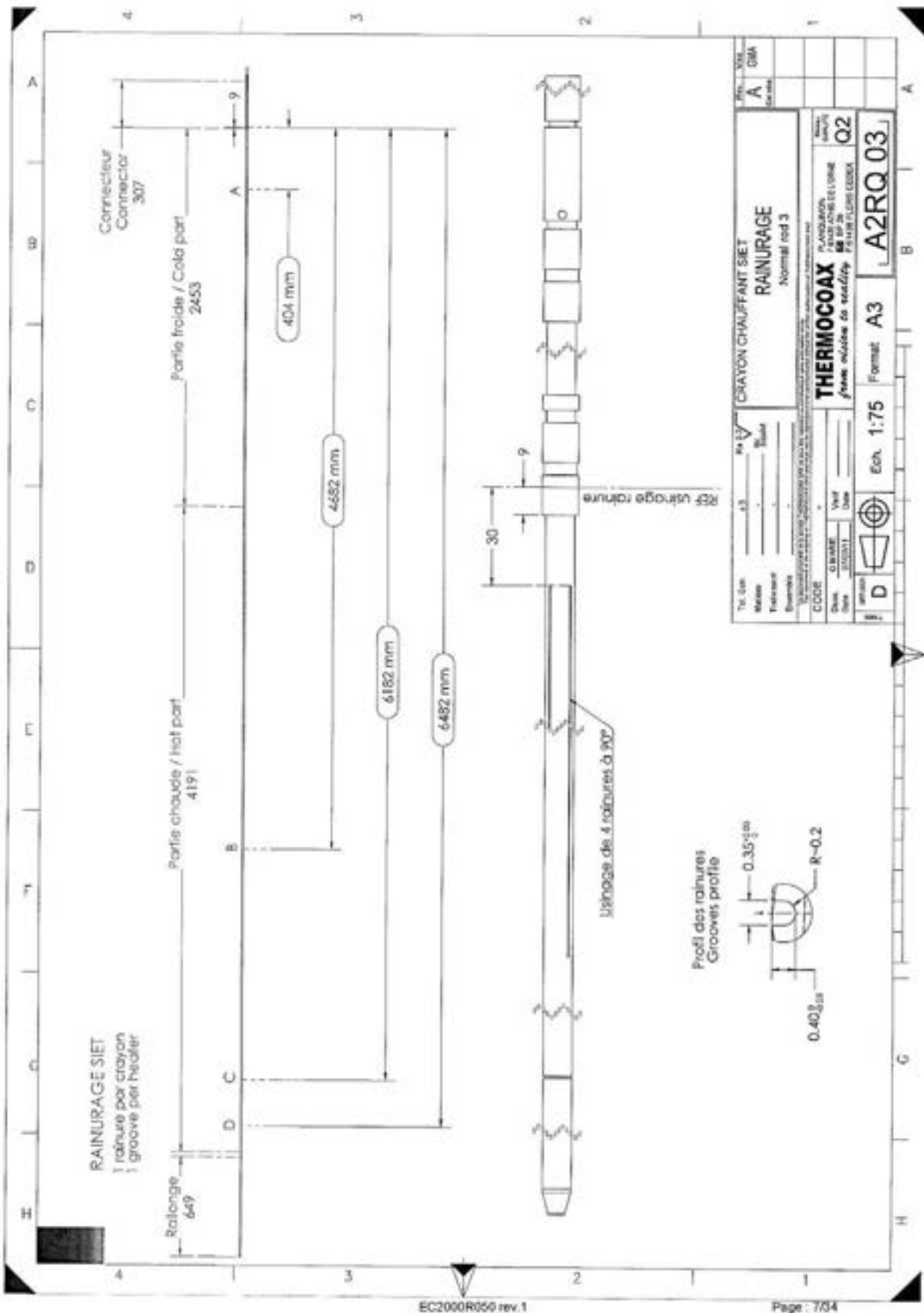
Code		
EC2000R050/2		
Rev.		1
Date	Author	Page
04/10/11	PBO	1/1

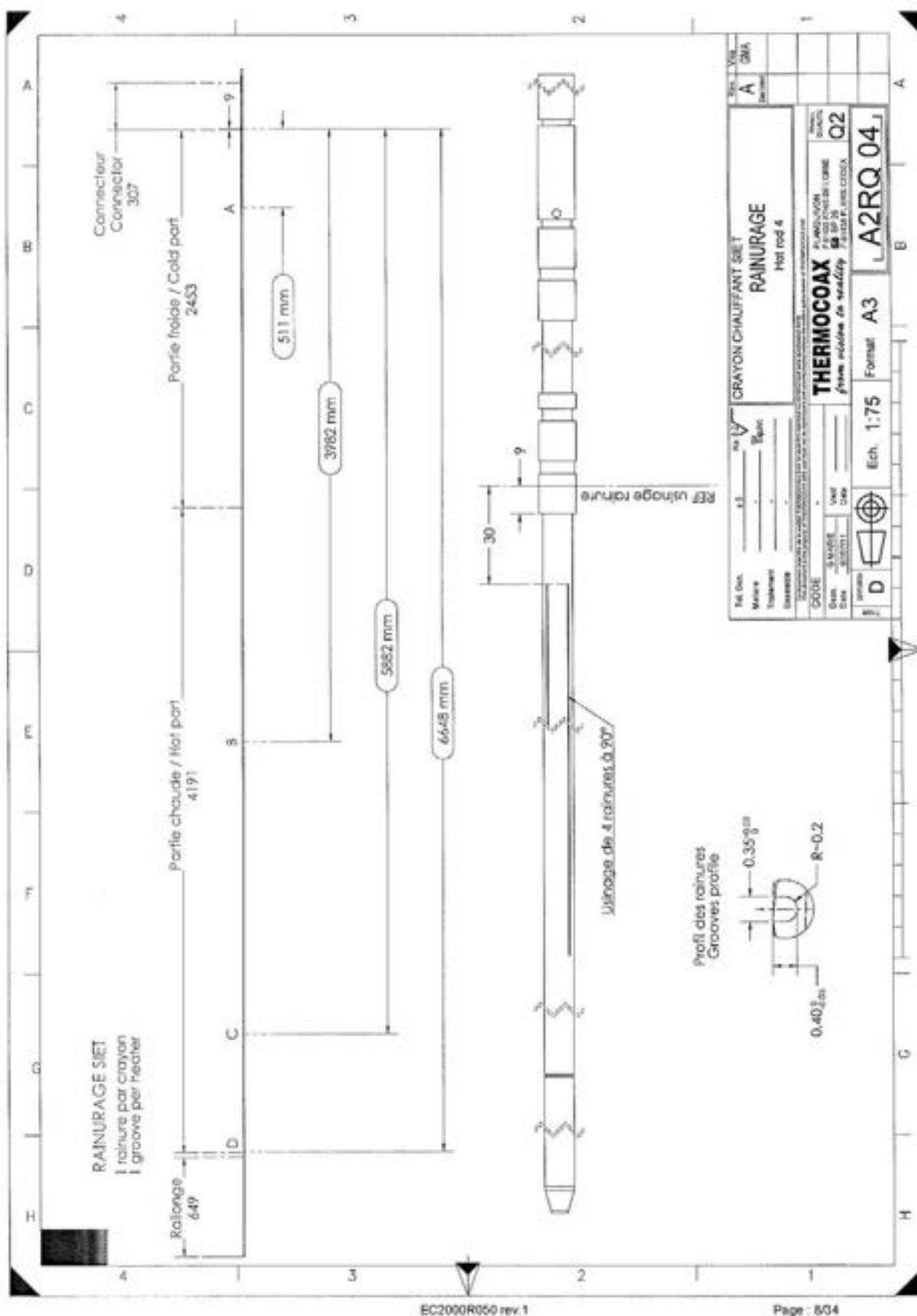
THERMOCOAX

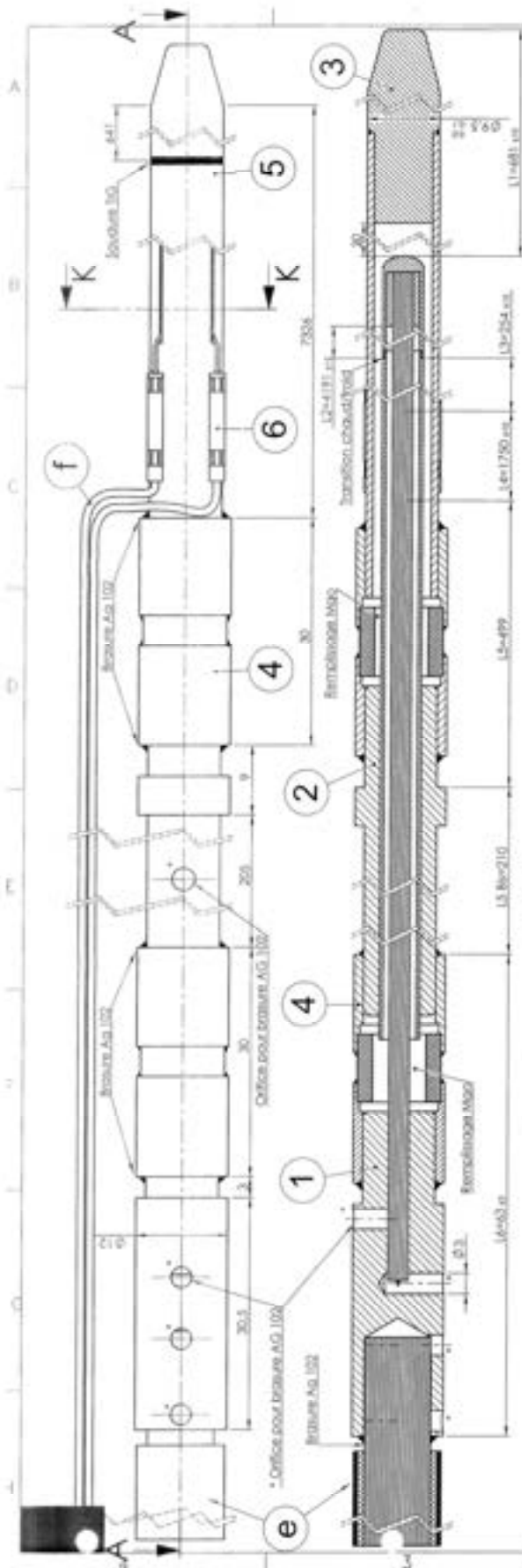
Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS



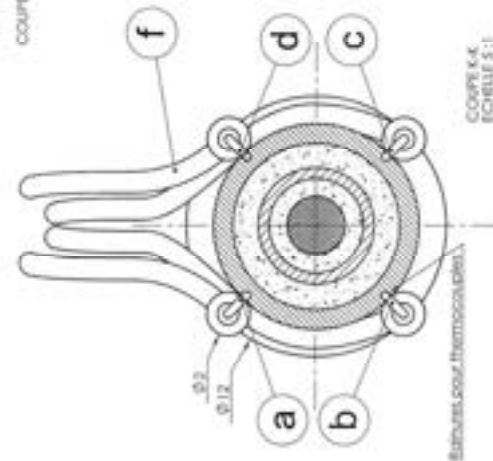








COUPE A-A



COUPE B-B
Echelle 5:1

No. article	QTE	DESIGNATION	MATIERE	N° de PLANS
1	1	CONNECTEUR	304 L	409 895
2	1	BUTÉE	304 L	409 898
3	1	CENTRIEUR	304 L	409 902
4	2	PASSAGE CERAMIQUE METAL	S-E	303 264
5	1	CRAYON CHAUFFANT	S-E	303 263
6	4	MCT 10	S-E	404 555
a	1	Thermocouple A lg suivant TUBE 3,4 [voir tableau sur plan 409 897] + 2m cable d'extension		
b	1	Thermocouple B lg suivant TUBE 1,2,3,4 [voir tableau sur plan 409 897] + 2m cable d'extension		
c	1	Thermocouple C lg suivant TUBE 1,2,3,4 [voir tableau sur plan 409 897] + 2m cable d'extension		
d	1	Thermocouple D lg suivant TUBE 1,2,3,4 [voir tableau sur plan 409 897] + 2m cable d'extension		
e	1	Cable d'alimentation Type CBN-50mm ² lg 1m50 (OMERIN) (code 21 0033)		
f	4	cable d'extension 2 AB 17 T NN longueur 2m		

NOTE	Normal ROD	Hot ROD
REP 2	Ø 5.37	Ø 5.87

RAW MATERIAL USED FOR MANUFACTURING OF FUEL PIN SIMULATORS

1. HEATING ELEMENT

MgO beads
THERMOCOAX batch: I.MGO.16108
Supplier: Confidential
Number of pages: 1

Inconel 600 tube
THERMOCOAX batch: TU.I.16675
Supplier: SOTEP
Number of pages: 2

Cu/B1 tube
THERMOCOAX batch: TU.C.16067
Supplier: TUBEXACT
Number of pages: 1

Cu/C2 wire
THERMOCOAX batch: B.C.15840
Supplier: THYSSENKRUPP
Number of pages: 1

Cu/C2 wire
THERMOCOAX batch: B.C.16532
Supplier: THYSSENKRUPP
Number of pages: 1

Total of pages: 6

T1002

RAW MATERIAL LIST

Code		
EC2000R050/3		Rev. 1
Date	Author	Page
04/10/11	PBO	1/1

THERMOCOAX

Se document provided as to secure THERMOCOAX SAS as per the request to communication with collection data
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS

Ce document propriété de la société
THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit
ou communiqué sans autorisation écrite

ORIGINAL

T1002

**ANALYSE CHIMIQUE
CHEMICAL ANALYSIS**

MgO	99.72%
Al ₂ O ₃	0.02%
SiO ₂	0.04%
CaO	0.17%
Fe ₂ O ₃	0.03%
C	30ppm
S	<20ppm
B	<10ppm
Cd	<10ppm
B + Cd	<20ppm

ASSURANCE QUALITE
SAS

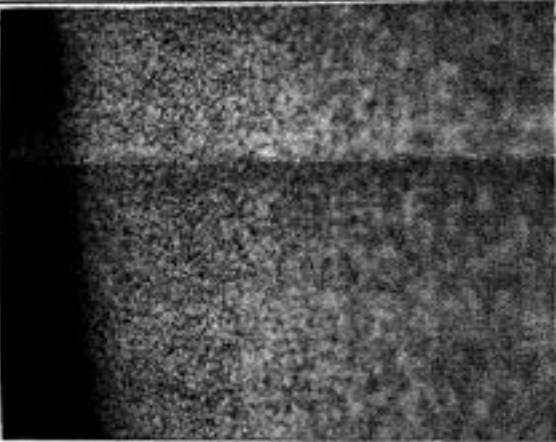
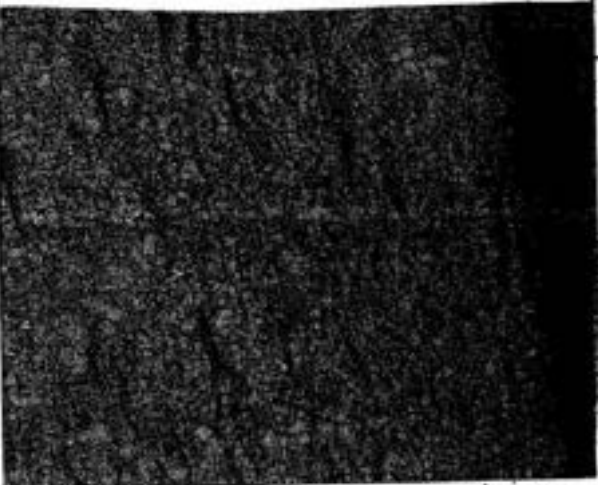

Damien GALLOT
Assurance Qualité

**CERTIFICAT D'ANALYSE MAGNESIE
CHEMICAL ANALYSIS MAGNESIA
LOT THERMOCOAX 16108**

Code	PP001A772	Rev.	1
Date	01/09/10	Par	DGA
Page	1/1		

THERMOCOAX

SOCIÉTÉ TECHNIQUE D'ETIRAGE DE PRÉCISION 36100 CHOUZAY France Tél : +33 (0)2 54 21 25 39 Fax : +33 (0)2 54 21 77 93 Email : qualite@tubestech.com Site Web : www.tubestech.com		DECLARATION DE CONFORMITE (NF L 00-01SC) Certificat de réception Inspection certificate / Abnahmeprüfzeugnis EN 10204 3.1 N° 102661		N° Client : 411THE02 Purchaser Nr / Bestellnr Nr Date : 15/02/2011 Rev. 0 Date / Datum	
 AUTOMATIQUE QUALITÉ ISO 9001 ISO 9001 - N° QUAL/1993/1549C EN9100 - N° AERO/2006/28015A				PED 97/23/EC annexé à §4.3 n°01 202 F/Q09.081008 AD 2000 WD / TRD 100	
Client : THERMOCOAX S.A.S.		N° Commande :	Order / Bestell	AR :	Works Nr/Werks Nr
Purchaser / Besteller		1004362B			20101096
Adresse de facturation : THERMOCOAX S.A.S.		BP 26			
Invoice Address / Rechnungsanschrift		SERVICE COMPTABILITE FOURNISSEUR			
		61430 FLERS CEDEX	France		
Adresse de livraison : THERMOCOAX		USINE DE PLANQUIVON			
Delivery Address / Lieferanschrift		61430 ATHIS DE L'ORNE	France		
Quantité / Quantity / Lieferung	Métrage : 310,90 m	Diamètre Extérieur (O.D.) :	12,60	Mini	Maxi
Poids (weight)	42,00 pcs	Diamètre Intérieur (I.D.) :	1,90	-0,10	0,10
Règles :		Epaisseur (th) :	5000,00	+1000,00	1000,00
		LONGUEUR (length) :			
Acier et spécifications (Steel and Specifications / Stahlsorte und Lebensschreiben)					
T061H1640X190/COURANTE TUBE INCONEL 600 SS - HYPERTREMPER - De 16.4 X Di 12.60 - Lg 4/M					
SPEC THERMOCOAX PPOGAD11 REV 07 SPEC THERMOCOAX PPOGAD11 REV 07					
Votre référence / Your reference :					
LIN	Analyse sur Coulée	C%	S%	Mn%	P%
LIN2523	Ladle Analysis / Schmelzanalyse	C%	S%	Mn%	P%
	Coulée HYEG484(SHG)	0,0110	0,1700	0,2200	0,0050
Co%	Ti%	Fo%	Cr%	Al%	Hc%
0,0100	0,2200	8,4900	0,0200		
Contre analyse sur Produit Second Analyse on the Product / Gegenanalyse der Produkte					
N° PV	C%	S%	Mn%	P%	S%
	C%	S%	Mn%	P%	S%
Co%	Ti%	Fo%	Cr%	Al%	Hc%
Traction Temperature Ambiante : Réam : 597,0					
Tensile test Rp 0.2% : 276,0					
Zugversuch Rm % : 56,00					
Longueur (length) :					
Diamètre Extérieur (O.D.) :					
Diamètre Intérieur (I.D.) :					
Epaisseur (th) :					
Dureté (hardness) :					
Rugosité extérieure (roughness) :					
Rugosité intérieure :					
Poids / m (weight / m) :					
Flèche (straightness) :					
Concentricité (concentration) :					
Aplatissement (flattening test) :					
Essai (flaring test) :					
Pliage (flanging test) :					
Ipr. Hydraulique (Hydraulic test) :					
Aspect (visual examination) :					
Propreté (cleanliness) :					
Observations : ISSU DU LOT 102113 PP0CGA 982					
Nous déclarons que la fourniture citée est conforme aux exigences du contrat et des, après vérification et essais, elle répond en tous points aux exigences spécifiées, aux normes et règlements applicables, sauf exceptions, réserves ou dérogations énumérées dans la présente déclaration de conformité.					
We hereby declare, bearing exceptions, reservations, or exemptions listed in this statement of conformity, that the listed supplies comply with the contract requirements and that, after completion of testing and verification, they completely satisfy all specified requirements and applicable standards and regulations.					
Wir erklären, dass die vorliegende Lieferung in Übereinstimmung mit den Vertragsanforderungen hergestellt wurde und das sie nach Durchführung aller Kontrollen und Prüfungen, in jeder Hinsicht den in den diesbezüglich gültigen Normen und Vorschriften festgelegten Anforderungen, bis auf die in dieser Übereinstimmungserklärung genannter Ausnahmen, Vorbehalte oder Abweichungen, entspricht.					
Signature : [Signature]					
Date : 15/02/2011					
Visa Émetteur :					
Responsable Contrôleur G. COURTELLET					
S.A.S. au capital de 500000 € - Chateauroux B 318301512 - Siret 31830151200014 - APE 2511Z - CCP Limoges Z-236-38 L - N° Identification FR76318301512 EC2000R050 rev. 1 Page : 12/04					

Examen Métallographique Metallographic Examination		N° de PV / Report No.											
Client : THERMOCOAX Customer		N° C ^{de} Client : Cust. Order No.											
Nuance : INCONEL 600 SS Grade		N° de Lot : 102443 Batch number											
Coulée : Heat		N° de LM : 12523 LM number											
Procédures Procedure	Révision Revision	Spécifications Specification	Révision Revision										
IT015	3												
IT016	5												
 200 µm ϕ EXT		Nature du produit / Type of product ☒ Tube ☐ Barre ☐ Profil Pipe Bar Profile											
		Etat du produit / Product condition ☒ Hypertrempé ☐ Ecroui Annealed Cold working											
 200 µm ϕ INT		Dimensions / Sizes ϕ extérieur / OD : ϕ intérieur / ID : 17,40 Epaisseur / Thickness : 1,90											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Grossissement / Grain growth</th> <th>Grain</th> <th>Dureté / Hardness</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X200</td> <td>9/10</td> <td>177 HV</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X200</td> <td>9/10</td> <td>177 HV</td> </tr> </tbody> </table>		N°	Grossissement / Grain growth	Grain	Dureté / Hardness	1	X200	9/10	177 HV	2	X200
N°	Grossissement / Grain growth	Grain	Dureté / Hardness										
1	X200	9/10	177 HV										
2	X200	9/10	177 HV										
		Attaque / Attack EAU / OXALIQUE											
		Résultats / Results Conformes aux spécifications / In accordance with specifications											
		LOT THERMOCOAX N° ... TU I N 675 ...											
Date / Date	Contrôleur / Inspector	Vérificateur / Reviewer											
3.2.11	LECHARTIER DIDIER												

 13 ter, rue des Margats 77120 COULOMMIERS FRANCE Tél : 01 64 03 23 06 Fax : 01 64 03 03 88		CERTIFICAT DE CONTRÔLE ET DE CONFORMITE CERTIFICAT DE CONTRÔLE DES PRODUITS PAR L'USINE (CCPU) Certificate of control and conformity / Abnahme prüfzeugnis Selon NF EN 10204 3.1.B / DIN 50049 3.1B According to / Nach		Date : 04/08/2010 Date / Datum	
CLIENT : THERMOCOAX Purchaser / Besteller					
N° de Commande : 1001641 B Order / Bestell		N° d'AR TUBEXACT : 38432 Works Nr / Werke Nr		N° de bon de livraison : 95319 Delivery document Nr / Lieferschein	
POSTE Item	DIMENSIONS - DESIGNATIONS Size - designation / Abmessung		QUANTITE DE LIVRAISON Delivery quantity / Liefermenge		
			Mètres / Meter	Kg	Nombre / Number
1	Tubes référence 2101919A Tubes 13 x 1 en longueurs droites		8,00		
Matière : CUIVRE Metal / Metall			Nuance : CUB1 Grade / Markenbezeichnung		
			N° LOT TUBEXACT : M0812618		
		P			
Mini					
Maxi					
couleur		0,025			
	Cu			Cu	
Mini					
Maxi					
	99,95			<0,001	
Mini					
Maxi					
CARACTERISTIQUES MECANIKES Mechanical Characteristic					
POSTE Item	Rm Mpa U.T.S. / Zugfestigkeit	Rp0,2% Mpa	ALLONGEMENT (%) Elongation / Bruchdehnung		DURETE Hardness / Härte
Ø ext. : Conforme Ø int. : Conforme Epaisseur : Conforme Evasé : Flaring test / Aufweitung Appâti : Bend test / Faltenbruch Test de pression : Hydraulic test / Wasserprobe			Aspect : Courant de Foucault : ddy current testing / Wirbelstromprüfung Aplati : Flattening test / Ringelbruch Rugosité : Grain : Fibre :		
NOUS ATTESTONS QUE LES PRODUITS LIVRES SONT CONFORMES AUX STIPULATIONS DE LA COMMANDE. With the knowledge or result of acceptance's tests we certify that the delivered products comply with the specification of the order and with the standards and rules to be applied. Nach Ansicht der Ergebnisse aus, abnahmeprüfungen an der Lieferung bescheinigen wir das gelieferte erzeugnis den vereinbarungen bei der bestellung sowie den zur zeit gültigen normen und bestimmungen entspricht.			Nom Responsable AQ : Mme L. CHABANNE Visa : 		Décision : CONFORME

P004 A676

ThyssenKrupp Aerospace France
ThyssenKrupp Materials France
Agence Commerciale : 20, Rue Feytaud - L.A. F-59652 - L. F. 59652 Copennes - France
Tél : +33 (0) 20 49 4245 - Email : Equipes.ventes@thyssenkrupp.com
Fax : +33 (0) 20 49 4246 - Site Web : www.thyssenkrupp-aerospace.com

THERMOCOAX ET CIE
BP 26
61438 FLERS CEDEX
61100 FLERS

ANALYTIQUE : 35

BON DE LIVRAISON
16 0000 **
09575328

LIVRAISON EXEMPLAIRE CLIENT
B / K2 REPAFURE 3000985 B DU 22/03/2010

DESIGNATION
CUC2 (CU-OFE) - 34 BARRES
R 32.70 2945
21022586

QUANTITE
PIECES : 34
PIECES : 34

MOISURE
COMPTAGE

CONSIGNES
TYPE CA : 0
B C 15840

REMARKS
CUC2 (CU-OFE) - 34 BARRES
R 32.70 2945
21022586

DECLARATION OF CONFORMITY
(NFI 00-015)
Nous déclarons que la fourniture citée est conforme aux exigences du contrat et que, après vérifications et essais, elle répond en tout point, aux exigences spécifiques, aux normes applicables, sauf exceptions, réserves ou dérogations énumérées dans la présente déclaration de conformité :
We hereby declare, having exceptions, reservations or exemptions listed in this statement of conformity that the listed supplies comply with the contract requirements and that, after completion of testing and verification, they completely satisfy all specified requirements, and applicable standards and regulations.
Christophe Cornet
Responsable Qualité

SAISI, SPM, libéré le 30/13/10
LIBRE pour Fabrication le 14/1/10

RECEU
30/13/10
FCD

TOTAL TOTAL
DATE : 01.04.10
JOUR CO : SLO

TOTAL TOTAL
DATE : 01.04.10
JOUR CO : SLO

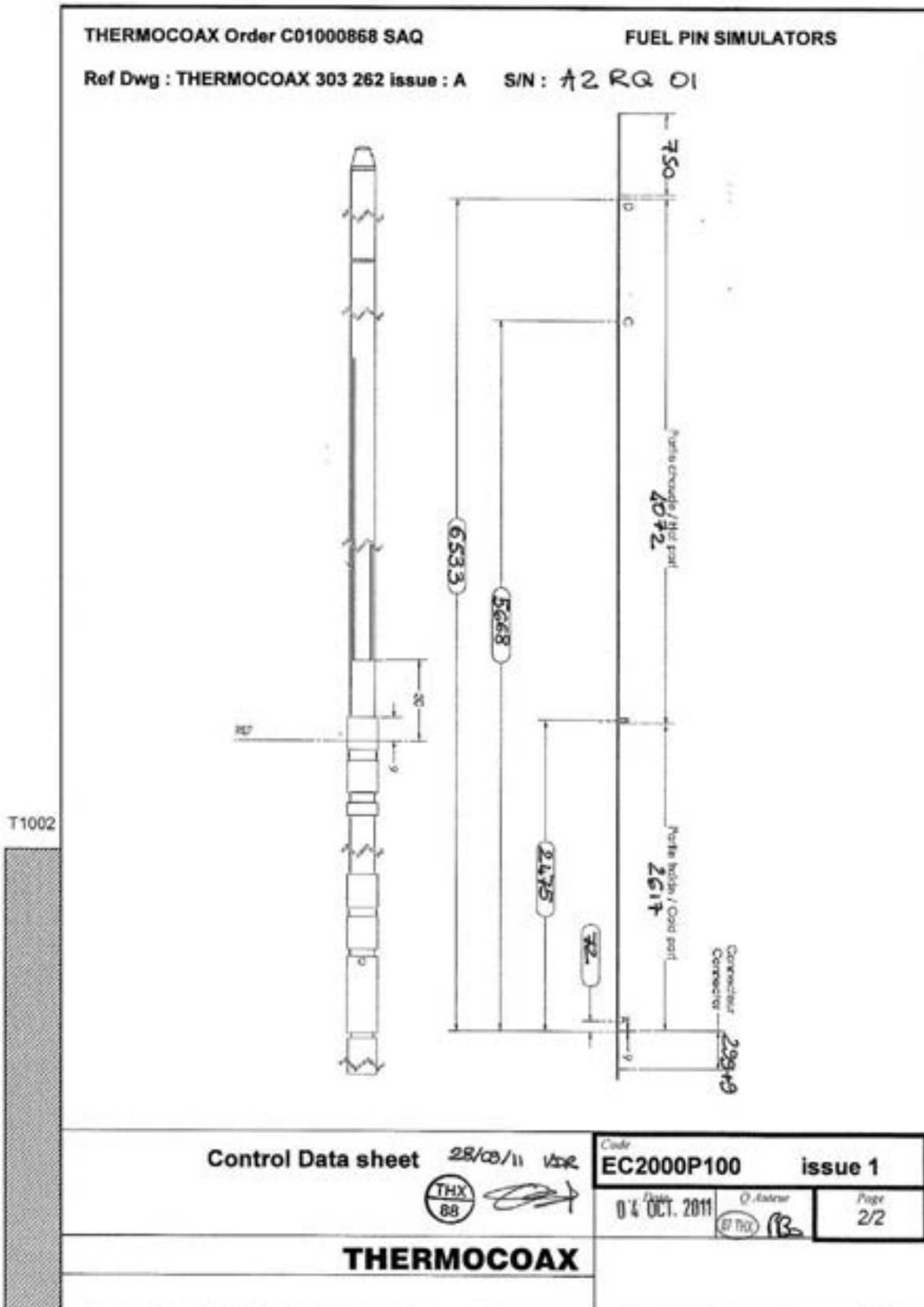
	1	122,00
--	---	--------

Ce document propriété de la société
THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit
ou communiqué sans autorisation écrite

T1002

THERMOCOAX Order C01000868 SAQ		FUEL PIN SIMULATORS	
Ref Dwg : THERMOCOAX 303 262 issue : A S/N : A2 RQ 01			
DESCRIPTION	VALUES		
	Specified	Measured	
ELECTRICAL TESTS			
- Heater insulation resistance at room temperature under 250 VDC	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	$3,2 \cdot 10^{10} \Omega$	
- Heater line resistance at room temperature		$0,537 \Omega$	
- Thermocouple insulation resistance	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	A : $1 \cdot 10^{12} \Omega$ B : $1 \cdot 10^{12} \Omega$ C : $1 \cdot 10^{12} \Omega$ D : $1 \cdot 10^{12} \Omega$	
- Thermocouples line resistance		A : 38Ω B : 720Ω C : 1600Ω D : 1787Ω	
DIMENSIONAL CONTROLS			
Heating part length		4072 mm	
Cold part length		2617 mm	
Heating part diameter		$\varnothing 9,473 \text{ mm}$	
Cold part diameter		$\varnothing 9,438 \text{ mm}$	
Date, nom et visa opérateur Date, name & visa of the controller	28/09/11  VDR		Anomalie(s) / Anomaly: FNC N°2266
N° Appareil(s) utilisé(s) Equipment used	464, 418, 964, 779		
Procédure(s) utilisée(s) Instruction used	/		
PROCES VERBAL DE CONTROLE		Code EC2000P100	
OBJET : Control Data Sheet		Date 04 OCT. 2011	Page 1/2
THERMOCOAX			

Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS

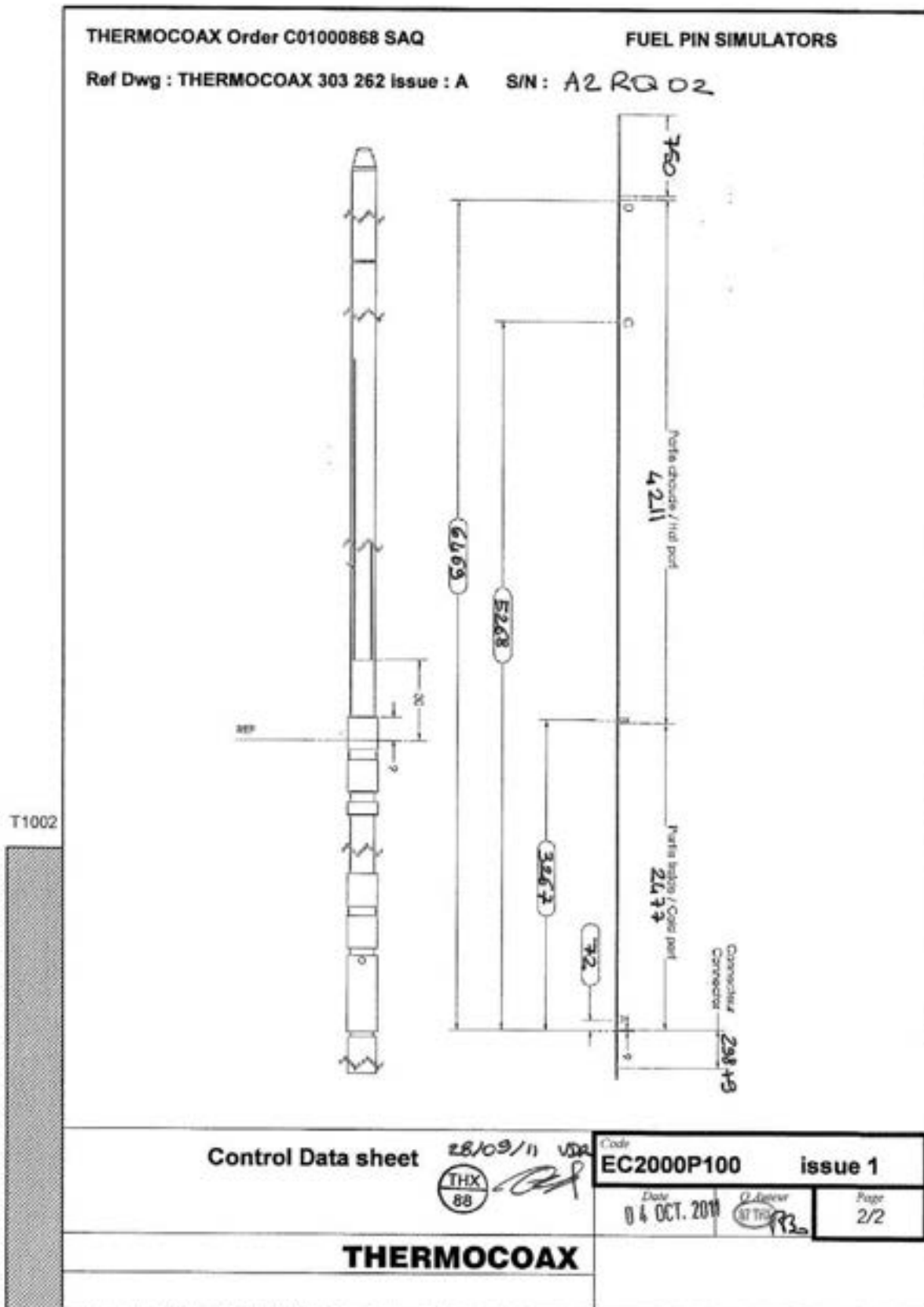


Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite

T1002

THERMOCOAX Order C01000868 SAQ		FUEL PIN SIMULATORS	
Ref Dwg : THERMOCOAX 303 262 issue : A		S/N : A2 RQ 02	
DESCRIPTION	VALUES		
	Specified	Measured	
ELECTRICAL TESTS			
- Heater insulation resistance at room temperature under 250 VDC	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	$1,5 \cdot 10^8 \Omega$	
- Heater line resistance at room temperature		0,560 Ω	
- Thermocouple insulation resistance	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	A: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ B: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ C: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ D: $5 \cdot 10^{10} \Omega$	
- Thermocouples line resistance		A: 38,9 Ω B: 901 Ω C: 1464 Ω D: 1736 Ω	
DIMENSIONAL CONTROLS			
Heating part length		4211mm	
Cold part length		2477mm	
Heating part diameter		Ø9,472mm	
Cold part diameter		Ø9,473mm	
Date, nom et visa opérateur Date, name & visa of the controller	28/03/11	Anomalie(s) / Anomaly: FNC N°2264	
N° Appareil(s) utilisé(s) Equipment used	464, 418, 966, 779		
Procédure(s) utilisée(s) Instruction used	/		
PROCES VERBAL DE CONTROLE		Code EC2000P100	
OBJET : Control Data Sheet		Date 04 OCT. 2011	Page 1/2
THERMOCOAX			

Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS



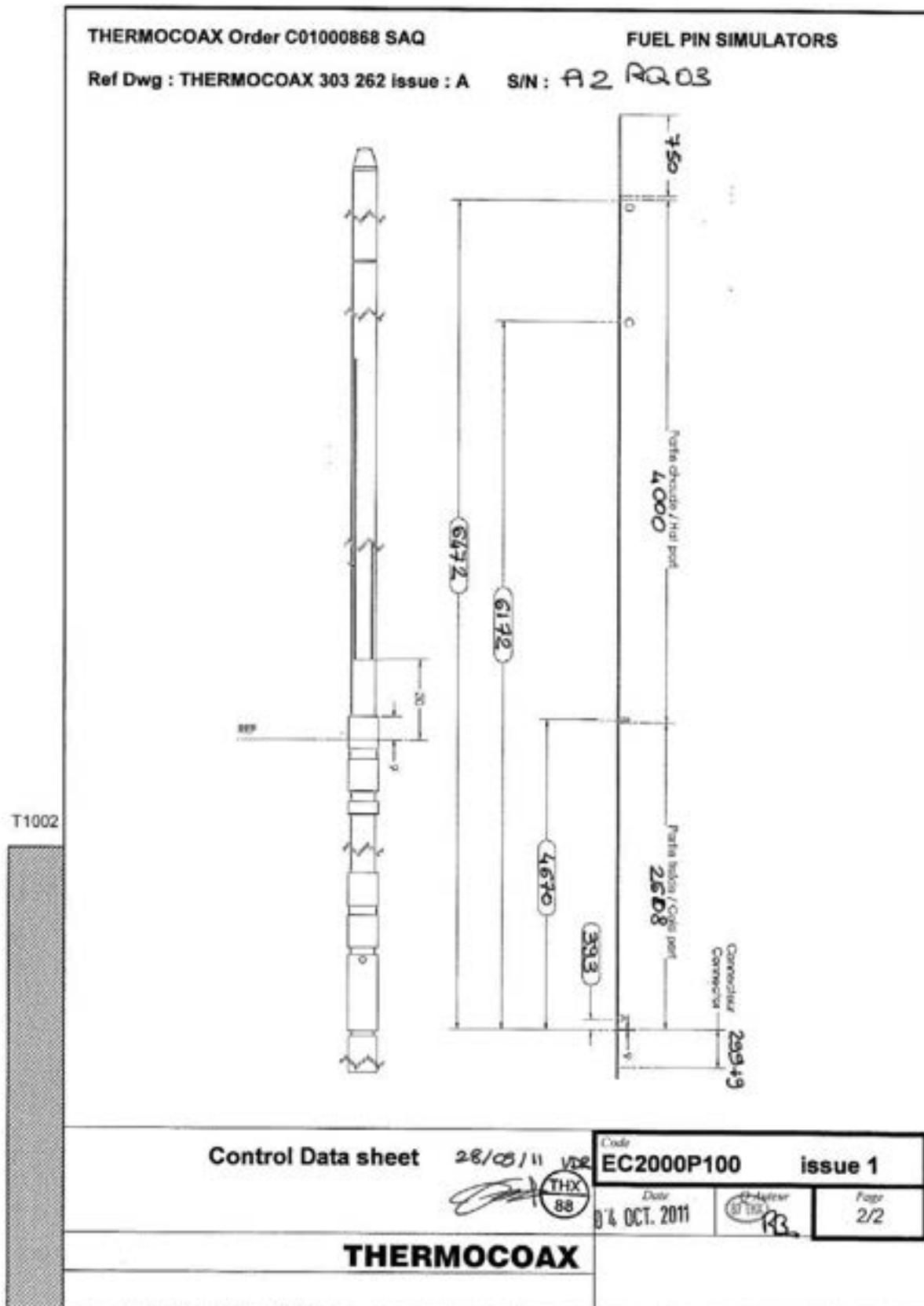
Un document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être réproduit ou communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS

Ce document, propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite

T1002

THERMOCOAX Order C01000868 SAQ		FUEL PIN SIMULATORS	
Ref Dwg : THERMOCOAX 303 262 issue : A S/N : A2 RG 03			
DESCRIPTION	VALUES		
	Specified	Measured	
ELECTRICAL TESTS			
- Heater insulation resistance at room temperature under 250 VDC	$\geq 1.1 \times 10^5 \Omega$	$2,5 \cdot 10^{10} \Omega$	
- Heater line resistance at room temperature		$0,526 \Omega$	
- Thermocouple insulation resistance (25V _{DC})	$\geq 1.1 \times 10^5 \Omega$	A: $2 \cdot 10^{11} \Omega$ B: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ C: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ D: $2 \cdot 10^{12} \Omega$	
- Thermocouples line resistance		A: 123Ω B: 1282Ω C: 1649Ω D: 1775Ω	
DIMENSIONAL CONTROLS			
Heating part length		4000mm	
Cold part length		2608mm	
Heating part diameter		$\varnothing 9,500mm$	
Cold part diameter		$\varnothing 9,476mm$	
Date, nom et visa opérateur Date, name & visa of the controller	28/09/11 VDR	Anomalie(s) / Anomaly: FNC N°2264	
N°(s) Appareil(s) utilisé(s) Equipment used	664, 418, 966, 779		
Procédure(s) utilisée(s) Instruction used	—		
PROCES VERBAL DE CONTROLE		Code EC2000P100	
OBJET : Control Data Sheet		Date 04 OCT. 2011	Page 1/2
THERMOCOAX			

En document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS



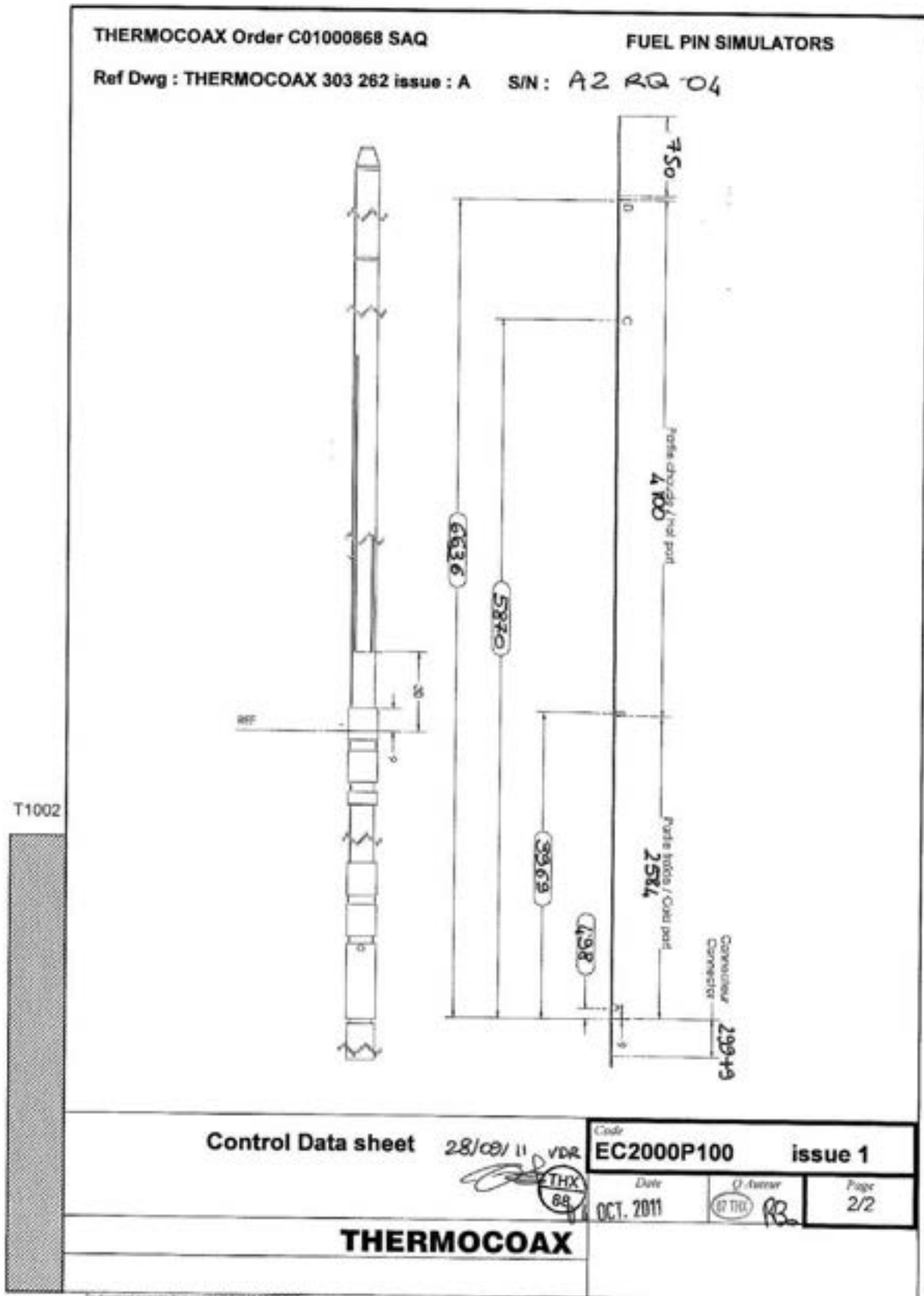
Le disegni sono proprietà di THERMOCOAX SAS e non sono da riprodurre o comunicare senza autorizzazione scritta.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS.

Ce document propriété de la société
THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit
ou communiqué sans autorisation écrite

T1002

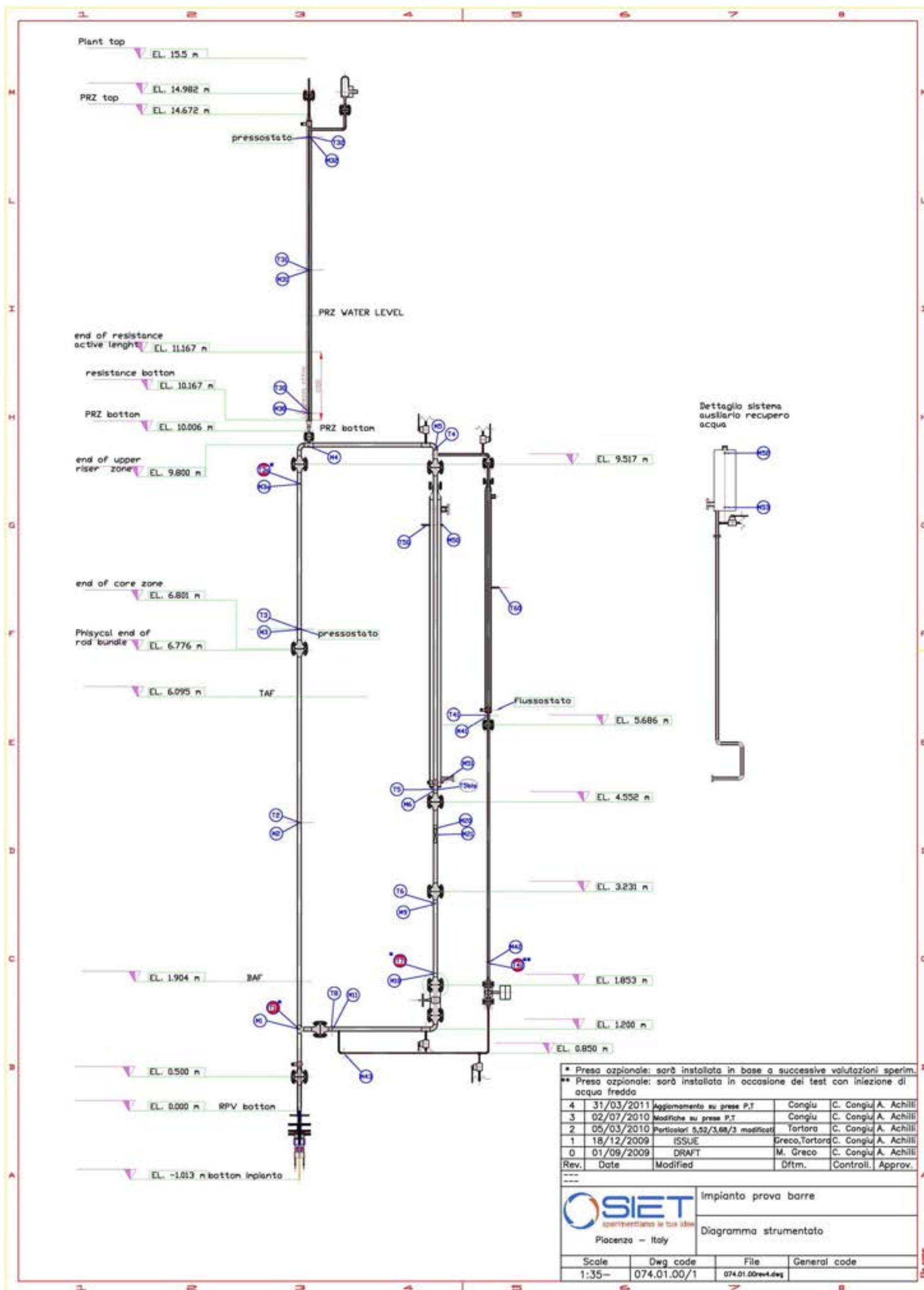
THERMOCOAX Order C01000868 SAQ		FUEL PIN SIMULATORS	
Ref Dwg : THERMOCOAX 303 262 issue : A		S/N : A2RQ 04	
DESCRIPTION	VALUES		
	Specified	Measured	
ELECTRICAL TESTS			
- Heater insulation resistance at room temperature under 250 VDC	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	$8,6 \cdot 10^8 \Omega$	
- Heater line resistance at room temperature		$0,506 \Omega$	
- Thermocouple insulation resistance (25 Vdc)	$\geq 1.1 \times 10^8 \Omega$	A: $1 \cdot 10^{12} \Omega$ B: $8 \cdot 10^8 \Omega$ C: $1 \cdot 10^8 \Omega$ D: $1 \cdot 10^{12} \Omega$	
- Thermocouples line resistance		A: 152Ω B: 1115Ω C: 1702Ω D: 1820Ω	
DIMENSIONAL CONTROLS			
Heating part length		4100 mm	
Cold part length		2584 mm	
Heating part diameter		$\varnothing 9,427 \text{ mm}$	
Cold part diameter		$\varnothing 9,432 \text{ mm}$	
Date, nom et visa opérateur Date, name & visa of the controller	28/09/11	VDR 	Anomalie(s) / Anomaly: FNC N° 2264
N°(s) Appareil(s) utilisé(s) Equipment used	464, 418, 966, 779		
Procédure(s) utilisée(s) Instruction used	/		
PROCES VERBAL DE CONTROLE			Code EC2000P100
OBJET : Control Data Sheet			Date 06 OCT. 2011
THERMOCOAX			Contrôle Q
			Page 1/2

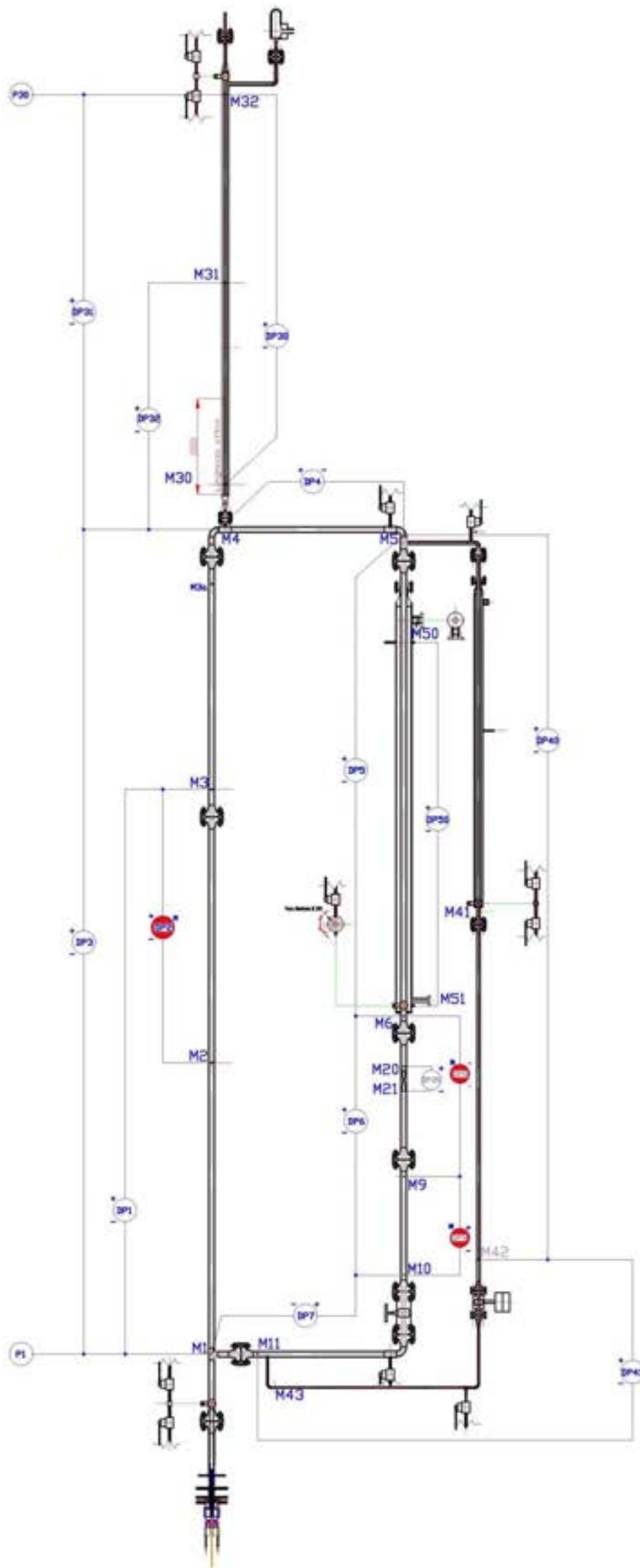
Ce document propriété de la société THERMOCOAX SAS ne peut être reproduit ou communiqué sans autorisation écrite.
This document is the property of THERMOCOAX SAS and must not be reproduced and communicated without the written authorization of THERMOCOAX SAS.



Id Client / Customer: SIET SPA		Cde / Order: 8310		Ref THX: C01000858 SAQ	
Fournisseur / Supplier:		Cde THX / THX Order:			
Réf. du produit / Product designation: FUEL PIN SIMULATOR				Qté. de pièces du lot / 4	
Qté de pièces concernées / Qty of products concerned: 4				Qty of products in the complete batch	
Critères d'acceptation / Acceptance criteria: Position of thermocouples defined by drawings sent on July the 8th. See attached drawings.					
Description de la non-conformité / Non-conformity description The actual FPS do not conform to the drawing. Due to a subcontractor error, grooves & TC are ~10 mm shorter than expected, except for the A2RQ/01 where TC D is ~100 mm shorter due to a manufacturing problem. (See attached control reports)				Code défaut / Default Code: 12 Date/Visa: 29/09/2011 P.Bouteloup	
Niveau de gravité / Severity level: mineur/minor ☐ majeur/major ☒				ASSURANCE QUALITE THERMOCOAX S.A.S.	
En rapport avec la sûreté nucléaire AD0100002 / Is it a safety concern: 10CFR21 oui/Yes ☐ non/No ☒				Préconisée par / Advised by: D. Lecharpentier	
% Client informé ? / Customer notified? oui/Yes ☐ non/No ☒				f-o x-fer-ri-dal	
Action Curative / Curative action: Réparé Repaired ☐ Repris Reworked ☐ Déclassé Downgraded ☐ Accepté en l'état Use as is ☒ <i>Use the fuel pin simulators as is.</i> Rebuté Rejected ☐ Rappel du produit Recall product ☐ Responsable:				Date prévue / Target date: 03/09/2011 Soldé le/Closed on: PartBy:	
Action corrective - préventive / Corrective - preventive action:				oui/Yes ☐ non/No ☒	
Dérogation / Deviation permit oui/Yes ☒ non/No ☐ % Avant production / Before production: ☒ Après production / After production: ☐				Référence:	
Action proposée / Proposed action: THERMOCOAX suggests our customer to accept the fuel pin simulators.					
Décision Client / Customer: accepté/accepted ☒ refusé/refused ☐ SIET SpA				Date/Visa: 29/09/2011 P.Bouteloup Carat SIET S.p.A.	
Accord de l'autorité ou DOA si le produit est listé dans la capacité list JA300R001 / Authority or DOA approval if it is included in the capability list accepté/accepted ☐ refusé/refused ☐ Date/Visa:					
Action Terminée le / Action completed on: 03.10.2011				Visa AQ: ☒ ASSURANCE QUALITE THERMOCOAX S.A.S.	
Diffusion / Distribution: AQ, DLE, XPO Niveau / Level:					
☒ Fiche de non conformité / Non conformity report N° 2264		Cde: / Afn: 1		Date: 29/09/11 Action/Autor: PBO Page: 1/1	
☒ Demande de dérogation / Deviation permit					
☒ Documents annexes / Appendixes: Drawings / Control reports					
THERMOCOAX					
AD006D145 rev. 10 Annexe 1					

Allegato 2 Diagramma strumentato del circuito prova barre**Dis. n° 074.01.00/1****Dis. n° 074.01.00/2**





Dettaglio sistema
ausiliario recupero
acqua



* Presa opzionale: sarà installata in base a successive valutazioni sperimentali.			
** Presa opzionale: sarà installata in occasione dei test con iniezione di acqua fredda			
4	31/03/2011	Aggiornamento su prese	Congiu C. Congiu A. Achilli
3	02/07/2010	Modifiche su prese	Congiu C. Congiu A. Achilli
2	05/03/2010	Particolari 5,52/3,68/3 modificati	Tortora C. Congiu A. Achilli
1	18/12/2009	ISSUE	Greco, Tortora C. Congiu A. Achilli
0	01/09/2009	DRAFT	M. Greco C. Congiu A. Achilli
Rev.	Date	Modified	Dftm. Controlli. Approv.