



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

## Progettazione e fasi realizzative della facility sperimentale SP&DE per esperienze termoidrauliche

*M. Ricotti, A. Achilli, S. Gandolfi*



Report RdS/2011/112

PROGETTAZIONE E FASI REALIZZATIVE DELLA FACILITY SPERIMENTALE SP&DE PER  
ESPERIENZE TERMOIDRAULICHE

M. Ricotti – POLIMI, Andrea Achilli, Stefano Gandolfi SIET SPA

Settembre 2011

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 Progetto: Paride Meloni, ENEA



**CIRTEN**

**Consorzio Interuniversitario per la Ricerca TEcnologica Nucleare**

**Politecnico di Milano  
Dipartimento di Energia**

**Progettazione e fasi realizzative della facility sperimentale  
SP&DE per esperienze termoidrauliche**

**Autori**

CIRTEN Marco Ricotti

SIET S.p.A. Andrea Achilli

SIET S.p.A. Stefano Gandolfi

**CERSE-POLIMI RL 1356/2011**

**Milano, Settembre 2011**

Lavoro svolto in esecuzione della linea progettuale LP2 punto B2.a  
AdP MSE-ENEA “Ricerca di Sistema Elettrico” - PAR2008-09  
Progetto 1.3 – “Nuovo Nucleare da Fissione”.

**Progettazione e fasi realizzative della facility  
sperimentale SP&DE per esperienze termoidrauliche**

**A. Achilli, S. Gandolfi**

**SIET 01 772 RT 11 Rev.0**

**ABSTRACT:** Questo documento, commissionato a SIET da CIRTEN, si colloca nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MSE sul "Nuovo nucleare da fissione" e rappresenta il deliverable B.2a della linea progettuale LP2 del PAR 2008-2009.

Il documento descrive le caratteristiche dell'impianto SP&DE per esperienze termoidrauliche di base su generatori di vapore di reattori SMR e di IV generazione. L'impianto sarà costruito presso i laboratori della SIET di Piacenza modificando e integrando opportunamente l'esistente impianto IETI. Sono inoltre descritti gli interventi di manutenzione della prima fase di adeguamento.

**7 Settembre 2011**



Società Informazioni Esperienze Termoidrauliche  
Via Nino Bixio, 27/C - 29121 Piacenza (I)

**EMITTENTE**  
issued by

<b>CLIENTE:</b> CIRTEN Client :	<b>COMMESSA:</b> 1IIMRVZZ10432 job:	<b>DISCO:</b> disk:	<b>PAGINA:</b> 1 <b>DI:</b> 37 page: of
------------------------------------	--	------------------------	--

<b>IDENTIFICATIVO:</b> document:	<b>01 772 RT 11</b>	<b>Classe Ris.:</b> Confidential:	<b>ALLEGATI:</b> 3 Enclosures:
-------------------------------------	---------------------	--------------------------------------	-----------------------------------

**TITOLO:** Progettazione e fasi realizzative della facility sperimentale SP&DE per esperienze termoidrauliche  
Title:

**REDATTORI:** A. Achilli, S.Gandolfi  
prepared by:

**LISTA DI DISTRIBUZIONE**  
distribution list

CIRTEN	Giuseppe Forasassi
CIRTEN	Marco Ricotti
SIET S.p.A.	Alfredo Luce
SIET S.p.A.	Stefano Monti
SIET S.p.A.	Andrea Achilli
SIET S.p.A.	Gustavo Cattadori
SIET S.p.A.	Stefano Gandolfi
SIET S.p.A.	Roberta Ferri
SIET S.p.A.	Cinzia Congiu

REV. Rev.	DATA date	DESCRIZIONE description	REDAZIONE prepared by	APPROVAZIONE approved by
0	7/09/2011	Emissione	 A. Achilli,  S.Gandolfi	 G. Cattadori

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

LISTA DELLE FIGURE	4
LISTA DELLE TABELLE	4
LISTA DEGLI ALLEGATI	4
1 INTRODUZIONE	5
2 CONFRONTO TRA I REQUISITI DELL'IMPIANTO SP&DE E LE POTENZIALITA' DELL'AREA IETI	6
3 DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO	7
3.1 Impianto a riscaldamento elettrico.	7
3.1.1 Pompe	10
3.1.2 Valvole pneumatiche o motorizzate	13
3.1.3 Valvole manuali	17
3.1.4 Tubazioni	18
3.1.5 Serbatoio di separazione	18
3.1.6 Gruppi di potenza	18
3.2 Impianto a riscaldamento mediante fluido	19
3.2.1 Dettagli sui componenti	20
4 SISTEMA DI MISURA, REGOLAZIONE E CONTROLLO	22
4.1 Descrizione generale	22
4.2 Elenco delle misure	22
4.3 Strumentazione per l'esecuzione delle misure	23
4.3.1 Misure di temperatura	23
4.3.2 Misure di pressione relativa	23
4.3.3 Misure di pressione differenziale, di livello e di portata	24
4.3.4 Misure di portata	24
4.3.5 Misure elettriche	24
4.3.6 Misura della corrente elettrica alla sezione di prova	24
4.3.7 Misura del potenziale elettrico sulla sezione di prova	24
4.3.8 Misura della potenza elettrica fornita alla sezione di prova	24
4.3.9 Misura della corrente elettrica al preriscaldatore	24
4.3.10 Misura del potenziale elettrico sul preriscaldatore	25
4.3.11 Misura della potenza elettrica fornita alla sezione di prova	25
4.4 Loop di regolazione	25
4.4.1 Loop PV1 - bypass pompa alimento	25
4.4.2 Loop PV2.1 - mandata pompa alimento linea piccola	25
4.4.3 Loop PV2.2 - mandata pompa alimento linea grande	25
4.4.4 Loop PV3 - pressione impianto linea grande	26
4.4.5 Loop PV4 - pressione impianto linea piccola	26
4.4.6 Loop PV5 - livello corpo cilindrico	26
4.4.7 Loop WIC1 – potenza elettrica al preriscaldatore	26
4.4.8 Loop WIC2 – potenza elettrica alla sezione di prova (tratto iniziale)	26
4.4.9 Loop WIC3 – potenza elettrica alla sezione di prova (tratto finale)	26
4.5 Parametri di controllo	26
4.5.1 Massima pressione di impianto	27
4.5.2 Massima temperatura ingresso sezione di prova	27
4.5.3 Minima e massima temperatura superficie sezione di prova	27
4.5.4 Minima portata in ingresso alla sezione di prova	27
4.5.5 Massima corrente elettrica al preriscaldatore	28
4.5.6 Massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto iniziale)	28
4.5.7 Massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto finale)	28
4.5.8 Massimo potenziale elettrico al preriscaldatore	28
4.5.9 Massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto iniziale)	28
4.5.10 Massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto finale)	28
4.6 Componenti del sistema di misura, regolazione e controllo	29
4.6.1 Regolatori di processo	29
4.6.2 Controllore logico programmabile (PLC)	29
4.6.3 Sistema di acquisizione ed elaborazione dati	30
5 ATTIVITA' PROGRAMMATE	33
5.1.1 Bonifica della caldaia elettrica	33
5.1.2 Riparazione delle coibentazioni danneggiate	33

5.1.3	Pulizia dell'area	33
5.1.4	Riattivazione del carro ponte	33
5.1.5	Rimozione della sezione di prova esistente	33
5.1.6	Manutenzione della pompa P2	34
6	CONCLUSIONI	36
7	BIBLIOGRAFIA	37

## LISTA DELLE FIGURE

Fig. 1 - Zona sezioni di prova (con sezione da rimuovere) .....	8
Fig. 2 - Zona componenti ausiliari (con caldaia da bonificare) .....	8
Fig. 3 - Vista d'insieme dell'impianto IETI .....	9
Fig. 4 - Carroponte per la movimentazione delle sezioni di prova .....	9
Fig. 5 - Pompa P1 .....	10
Fig. 6 - Pompa P2 .....	11
Fig. 7 - Pompa P2 .....	12
Fig. 8 - Valvola PV1 .....	13
Fig. 9 - Coefficiente di efflusso secondo UNI EN 1257 .....	14
Fig. 10 - Valvola PV3 .....	15
Fig. 11 - Valvola PV4 .....	16
Fig. 12 - Gruppo di potenza .....	19
Fig. 13 - Schema a blocchi del Sistema di Misura, Regolazione e Controllo .....	32
Fig. 14 - Disegno della pompa P2 .....	35

## LISTA DELLE TABELLE

Tab. 1 - elementi di valutazione per la scelta della strumentazione .....	23
Tab. 2 - Caratteristiche dei regolatori di processo .....	29
Tab. 3 - Caratteristiche del PLC .....	30
Tab. 4 - Caratteristiche del SAED .....	30
Tab. 5 - Caratteristiche dell'unità di acquisizione .....	31

## LISTA DEGLI ALLEGATI

Allegato 1:	Impianto sperimentale SP&DE: schema di flusso (disegno SIET 081-01-00 rev0).
Allegato 2:	Impianto sperimentale SP&DE: struttura di supporto (disegno SIET 081-00-00/1 rev0).
Allegato 3:	Impianto sperimentale SP&DE: sistema di riscaldamento a fluido (disegno SIET 081-00-00/2 rev0).

## 1 INTRODUZIONE

Il Politecnico di Milano, nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2008-2009 dell'accordo di programma ENEA-MSE, ha iniziato la fase realizzativa di un impianto per la sperimentazione termoidraulica di base su generatori di vapore per reattori SMR e per reattori di 4° generazione. La progettazione preliminare di tale impianto, denominato SP&DE (Simulation of Pressure drops & Dryout conditions in hElical coil tubes) è definita nel documento [1].

Presso i laboratori della SIET, è stata individuata l'area dell'impianto IETI come zona idonea ad ospitare la nuova facility SP&DE.

L'impianto IETI ha le potenzialità per alimentare la nuova facility per la ricerca termoidraulica di base. Le sue attuali caratteristiche ed alcune attrezzature già presenti consentono, con i dovuti interventi manutentivi e di modifica, di realizzare configurazioni semplici di circuiti, comunque già utili ai fini degli obiettivi della ricerca. La successiva installazione di ulteriori attrezzature e circuiti più complessi consentirà di massimizzare le possibilità operative dell'impianto.

L'attività di progettazione riportata in questo documento è riassunta nelle seguenti fasi:

- a) confronto tra le caratteristiche e prestazioni specificate nel documento progettuale preliminare [1] e le potenzialità dell'area IETI della SIET;
- b) definizione di uno schema di flusso che, massimizzando l'utilizzo dei componenti già presenti nell'area, consenta di realizzare una prima parte delle funzioni specificate nel documento progettuale preliminare [1];
- c) definizione di un lay-out iniziale degli impianti, che sia compatibile con gli spazi a disposizione e con i componenti presenti, da riutilizzare nell'ottica di una funzionalità parziale rispetto agli obiettivi finali;
- d) individuazione di componenti e sezioni mancanti che dovranno essere approvvigionati o realizzati in futuro per incrementare le potenzialità sperimentali;
- e) definizione delle future integrazioni del lay-out che consentano di raggiungere le massime potenzialità dell'impianto;
- f) individuazione dettagliata degli interventi manutentivi straordinari da eseguire sui componenti e sull'impianto attuale per rendere l'impianto operativo con funzionalità parziali, come menzionato ai punti b) e c).

Il presente documento descrive i risultati delle attività elencate ai punti a), d), e), f) e riporta i disegni che costituiscono la sintesi delle attività elencate ai punti b), c).

Lo scopo del documento è quello di fornire gli elementi progettuali relativi alle parti della facility SP&DE non soggette a modifiche, ossia comuni a tutte le sezioni di prova e test previsti. Le sezioni di prova, invece, non sono incluse, in quanto da progettare e realizzare di volta in volta in base a specifica.

## 2 CONFRONTO TRA I REQUISITI DELL'IMPIANTO SP&DE E LE POTENZIALITA' DELL'AREA IETI

Il documento [1] propone diverse configurazioni delle sezioni di prova che l'impianto SP&DE (**S**imulation of **P**ressure & **D**ryout conditions in **h**elical coil tubes) dovrà alimentare. Si tratta prevalentemente di sezioni di prova per lo studio dello scambio termico in fasci tubieri di forma non convenzionale, prevalentemente elicoidali.

Le sezioni di prova saranno principalmente di due tipologie.

1. sezioni a flusso termico imposto, con riscaldamento effettuato da corrente elettrica continua fluente nella parete del tubo (o tubi) della sezione di prova;
2. sezioni a temperatura imposta, dove viene riscaldato un fluido primario che scambia con il fluido secondario.

Relativamente alle sezioni del secondo tipo, cioè a temperatura imposta, possono essere utilizzati i seguenti fluidi:

- olio diatermico a base siliconica;
- sali fusi;
- metalli liquidi.

Nel Capitolo 3 di [1] vi sono alcune indicazioni comuni alle due tipologie di sezione che consentono la definizione delle massime potenzialità dell'impianto:

- Pressione: 0.5-25 MPa
- Portata specifica: 200-1600 kg/m<sup>2</sup> s
- Titolo in uscita: 0.1-1
- Diametro interno dei tubi: 5-14 mm
- Diametro della spira: 200-2000 mm

La massima portata è 0.24 kg/s (stimata per il tubo di maggior diametro (14 mm) alla massima portata specifica).

A tale portata, con titolo in uscita unitario alla pressione di 30-40 bar (pressione per cui i valori di entalpia del vapore saturo secco sono massimi), è necessaria la potenza globale di 660 kW, di cui il 30% circa (220 kW) erogato dal preriscaldatore.

L'area IETI dispone di diverse pompe, come mostrato in Allegato 1.

La pompa P2 ha una pressione massima di 25 MPa ed una portata volumetrica di circa 2 l/s (corrispondenti a circa 2 kg/s). Tale valore è adeguato per le potenzialità richieste all'impianto.

La pressione disponibile nella sezione di prova sarà inferiore a 25 MPa per le perdite di carico nel circuito e nelle valvole tra la pompa e la sezione di prova stessa. Sarà comunque possibile arrivare a pressioni di 22 MPa.

### 3 DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO

Parte dell'impianto SP&DE verrà realizzato riutilizzando componenti esistenti che, ove necessario, saranno sottoposti ad interventi di manutenzione straordinaria ed adeguamento alle vigenti normative per la sicurezza.

Il disegno in Allegato 1 riporta lo schema di flusso dell'impianto.

L'impianto può alimentare con acqua in pressione ed in temperatura, o con vapore a basso titolo, sezioni di prova intercambiabili.

Il fluido in uscita della sezione di prova viene scaricato attraverso un separatore dotato di valvole di regolazione ad attuazione pneumatica.

Nello schema di flusso sono rappresentate due tipologie di sezione di prova: una sezione elicoidale a riscaldamento diretto e flusso imposto, e una sezione alternativa, riscaldata con fluido ed operante a temperatura imposta.

#### 3.1 Impianto a riscaldamento elettrico.

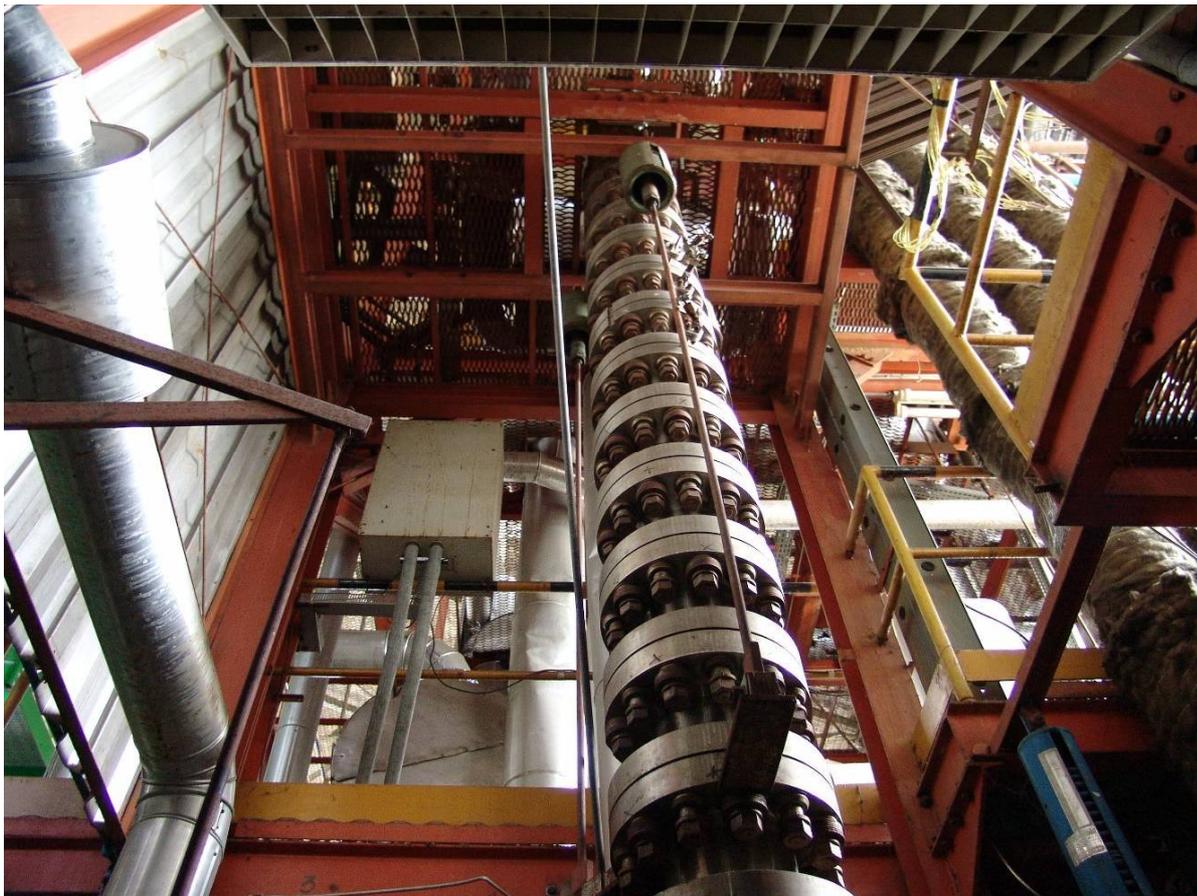
L'impianto, predisposto per sezioni di prova riscaldate elettricamente, è l'oggetto principale del presente progetto. Lo schema di flusso dei circuiti a monte e a valle della sezione di prova è riportata in Allegato 1.

L'Allegato 2 riporta, invece, il disegno della struttura portante dell'impianto IETI. Si tratta di una struttura metallica che dispone di un'area utile di 2x2 m in pianta e 9 m in altezza, in cui è possibile installare le sezioni di prova. Adiacente a questa area vi è una zona per l'installazione di componenti ausiliari della stessa altezza e dimensioni in pianta leggermente maggiori, 2x2.8 m.

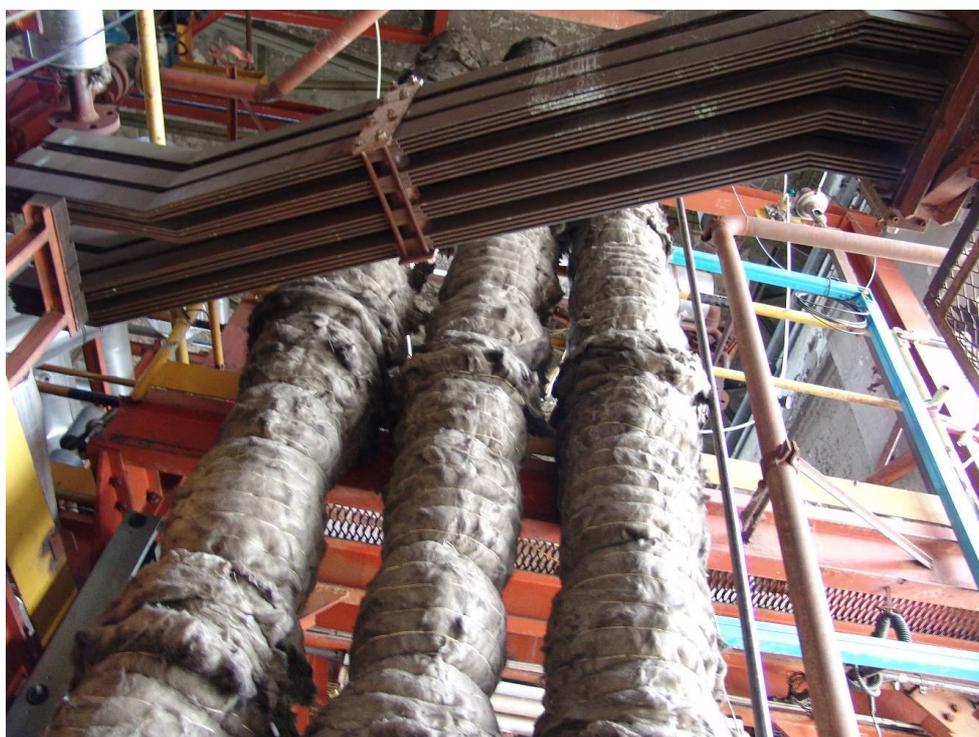
Attualmente, entrambe le zone sono parzialmente occupate. La zona per le sezioni di prova sarà resa totalmente libera rimuovendo una vecchia sezione di prova, Fig. 1. La zona per l'installazione dei componenti ausiliari sarà liberata parzialmente, bonificando una caldaia elettrica al momento inutilizzata, Fig. 2.

La vista d'insieme delle zone di lavoro dell'impianto IETI, per la realizzazione della facility SP&DE è mostrata in **Fig. 3**.

La struttura IETI è provvista di un carroponete, dotato di sollevamento elettrico e doppia traslazione manuale, con portata di 5000 kg, **Fig. 4**. L'area di lavoro del carroponete copre le due zone descritte sopra. Il carroponete sarà sottoposto a manutenzione straordinaria e rimesso in servizio dopo denuncia agli organi competenti.



**Fig. 1 - Zona sezioni di prova (con sezione da rimuovere)**



**Fig. 2 - Zona componenti ausiliari (con caldaia da bonificare)**



**Fig. 3 - Vista d'insieme dell'impianto IETI**



**Fig. 4 - Carro ponte per la movimentazione delle sezioni di prova**

I paragrafi seguenti riportano le caratteristiche dei componenti già installati o previsti per l'impianto SP&DE. I componenti e la loro posizione nell'impianto sono mostrati in Allegato 1.

### 3.1.1 Pompe

a) Pompa P1 (Booster 3), Fig. 5:

<b>Esistente</b>	<b>SI</b>
<b>Funzione</b>	<b>Attinge acqua dal serbatoio di stoccaggio e la invia alla successiva pompa volumetrica</b>
Costruttore	KSB
Modello	WK 80/2 HW
Anno di costruzione	ND
Portata	1985 l/min
Prevalenza	100 mca (metri colonna d'acqua)

Gli interventi necessari per il pieno ripristino della funzionalità sono:

- 1) la sostituzione dei cuscinetti;
- 2) il rifacimento delle baderne.

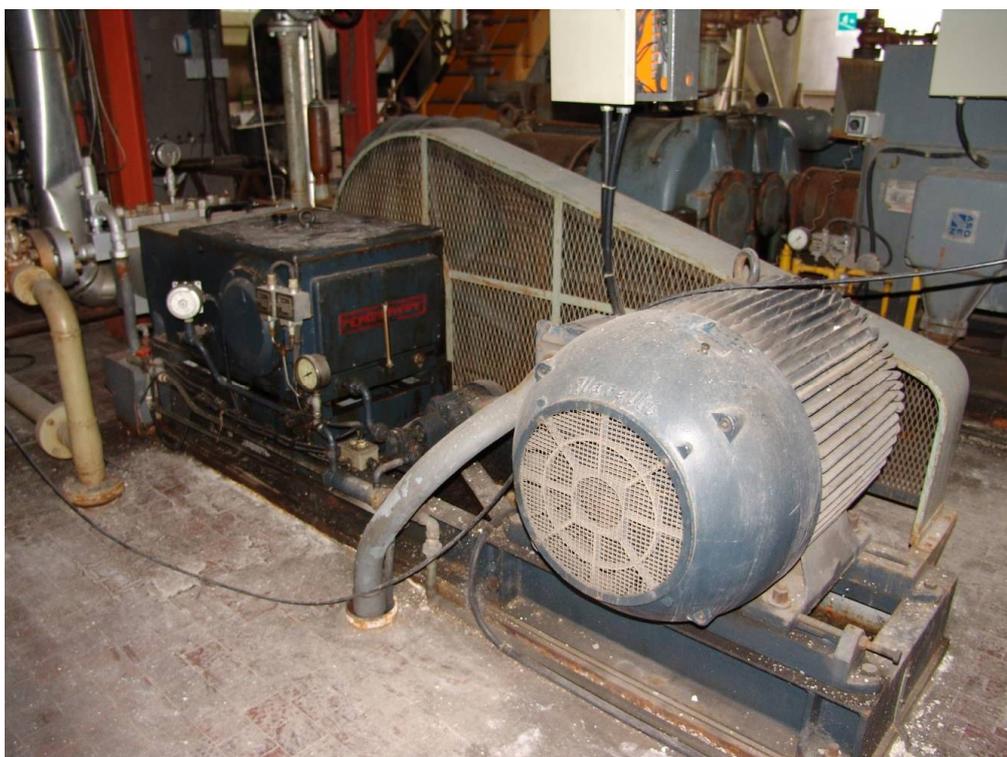


Fig. 5 - Pompa P1

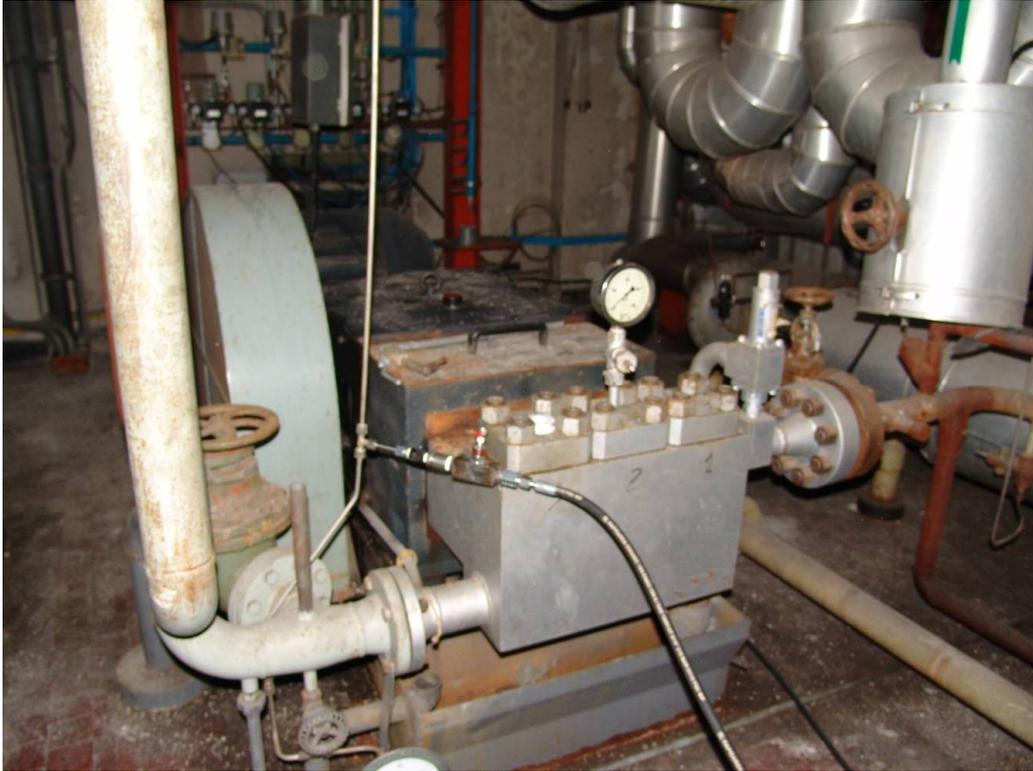
b) Pompa P2, Fig. 6, Fig. 7:

<b>Esistente</b>	<b>SI</b>
<b>Funzione</b>	<b>Innalza la pressione dell'acqua fino a 25 MPa</b>
Costruttore	Pompe Peroni
Modello	TITANO ns 3041
Anno di costruzione	1975
Portata	0.002 m <sup>3</sup> /s
Pressione massima	250 bar

Gli interventi necessari per il pieno ripristino della funzionalità sono descritti dettagliatamente nel paragrafo 5.1.6.



**Fig. 6 - Pompa P2**



**Fig. 7 - Pompa P2**

### 3.1.2 Valvole pneumatiche o motorizzate

c) Valvola PV1, Fig. 8

<b>Esistente</b>	<b>SI</b>
Costruttore	STI
Modello	SP.D
Matricola	45276
Size	1 inch
Rating	2600 PSI
Connessioni	Flangiate
Coefficiente d'efflusso	$0.6 \frac{t}{h * \sqrt{bar}}$
Caratteristiche otturatore	Equipercentuale
Azione aria	Chiude

Gli interventi necessari per il pieno ripristino della funzionalità sono:

- 1) il controllo della baderna;
- 2) la taratura.



Fig. 8 - Valvola PV1

## d) Valvola PV 2.1

<b>Esistente</b>	<b>NO</b>
Costruttore	N.D.
Modello	N.D.
Anno di costruzione	N.D.
Size	½ inch
Rating	2500 PSI
Connessioni	Flangiate
Coefficiente d'efflusso	$0.25 - 0.30 \frac{t}{h * \sqrt{bar}}$
Caratteristiche otturatore	Equipercentuale
Azione aria	Apre

## Dimensionamento delle valvola PV2.1

La massima portata in transito è 0.24 l/s come riportato al Cap. 2. La pressione differenziale con cui tale portata transita attraverso la valvola tutta aperta è dell'ordine di 1 MPa. Pertanto, la pressione in ingresso alla sezione di prova è ridotta di tale valore rispetto a quella fornita dalla pompa P2.

La normativa [2] riporta la formula per il calcolo del coefficiente di efflusso,  $K_v$ , per fluidi incomprimibili, Fig. 9.

## 6.2.1

 Coefficiente di flusso,  $K_v$ 

$$K_v = q_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_v \rho_0}}$$

dove:

$q_v$  è la velocità portata, espressa in m<sup>3</sup>/h;

$\rho$  è la massa volumica dell'acqua, espressa in kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_0$  è la massa volumica dell'acqua a una temperatura di 15 °C, espressa in kg/m<sup>3</sup>;

$\Delta p_v$  è la perdita di pressione della valvola, espressa in bar.

**Fig. 9 – Coefficiente di efflusso secondo UNI EN 1257**

Nel nostro caso, ipotizzando che l'acqua pompata sia a 15°C, si ottiene:

$$K_v = 0.24 * 3.6 * \sqrt{\frac{1}{10}} = 0.27 \frac{t}{h * \sqrt{bar}}$$

I valori accettabili per il  $K_v$  di una valvola commerciale sono compresi tra 0.25 e 0.3.

## e) Valvola PV 2.2

<b>Esistente</b>	<b>NO</b>
Costruttore	N.D.
Modello	N.D.
Anno di costruzione	N.D.
Size	¼ inch
Rating	2500 PSI
Connessioni	Flangiate

Coefficiente d'efflusso  $0.02-0.05 \frac{t}{h^* \sqrt{bar}}$

Caratteristiche otturatore Equipercentuale  
 Azione aria Apre

f) Valvola PV3, Fig. 10

<b>Esistente</b>	<b>SI</b>
Costruttore	STI
Modello	SP.G
Matricola	45076
Size	1 inch
Rating	1500 PSI
Connessioni	Flangiate
Coefficiente d'efflusso	$3 \frac{t}{h^* \sqrt{bar}}$
Caratteristiche otturatore	Equipercentuale
Azione aria	Apre

Gli interventi necessari per il pieno ripristino della funzionalità sono:

- 1) il controllo della baderna;
- 2) la taratura.



Fig. 10 - Valvola PV3

## g) Valvola PV4, Fig. 11

<b>Esistente</b>	<b>SI</b>
Costruttore	STI
Modello	ND
Matricola	39569
Size	¼ inch
Rating	2500 PSI
Connessioni	a saldare
Coefficiente d'efflusso	$0.08 \frac{t}{h * \sqrt{bar}}$
Caratteristiche otturatore	Equipercentuale
Azione aria	Chiude

Gli interventi necessari per il pieno ripristino della funzionalità sono:

- 1) il controllo della baderna;
- 2) la taratura.



Fig. 11 - Valvola PV4

## h) Valvola LV 1

<b>Esistente</b>	<b>NO</b>
Costruttore	N.D.
Modello	N.D.
Anno di costruzione	N.D.
Size	1/2 inch
Rating	2500 PSI
Connessioni	Flangiate
Coefficiente d'efflusso	$0.06-0.1 \frac{t}{h*\sqrt{bar}}$
Caratteristiche otturatore	Equipercentuale
Azione aria	Aprie

## Dimensionamento delle valvola LV 1

La massima portata in transito nella valvola che controlla il livello nel serbatoio di separazione si ipotizza uguale alla metà della massima portata di liquido che può essere fornita alla sezione di prova, ossia 0.12 l/s. La pressione differenziale con cui tale portata transita attraverso la valvola tutta aperta potrà essere di circa 3 MPa.

Secondo la normativa [2] e la formula riportata in Fig. 9 per il calcolo del coefficiente di efflusso,  $K_v$ , per fluidi incomprimibili, ipotizzando che l'acqua pompata sia a 100°C, si ottiene:

$$K_v = 0.12 * 3.6 * \sqrt{\frac{1}{30} * \frac{1000}{940}} = 0.08 \frac{t}{h*\sqrt{bar}}$$

I valori accettabili per il  $K_v$  di una valvola commerciale sono compresi tra 0.06 e 0.1.

### 3.1.3 Valvole manuali

Le valvole manuali sono in parte esistenti ed in parte da approvvigionare. Le loro caratteristiche sono elencate di seguito.

Valvole MV1 e MV2 (esistenti):

Tipo	a globo
Materiale	acciaio al carbonio
Tenuta	stelo a baderna
Riporto sede	-
Rating	ANSI 300

Valvole MV6, MV6b, MV7 (esistenti)

Tipo	a globo
Materiale	acciaio al carbonio
Tenuta	stelo a baderna
Riporto sede	stellite
rating	ANSI 2500 (PN 250)

Valvole MV3, MV4, MV4b (da approvvigionare)

Tipo	a globo
------	---------

Materiale	acciaio inossidabile
Tenuta	stelo a baderna o a soffierto
Riporto sede rating	stellite ANSI 2500 (PN 250)

Valvole MV5, MV5b, MV8 (da approvvigionare)

Tipo	a globo
Materiale	acciaio al carbonio
Tenuta	stelo a baderna o a soffierto
Riporto sede rating	stellite ANSI 1500 (PN 250)

### 3.1.4 Tubazioni

Le tubazioni, fino all'uscita della pompa P2, sono esistenti e sono in parte in acciaio al carbonio ed in parte in acciaio inossidabile. Allo stesso modo sono esistenti e realizzate prevalentemente in acciaio al carbonio le linee di scarico del vapore prossime alle valvole MV6, MV6b, MV7, PV3 e PV4.

Le tubazioni di nuova costruzione saranno realizzate con tubi senza saldatura secondo la norma ANSI B36,10 con schedula 80.

### 3.1.5 Serbatoio di separazione

Per ottenere un buon controllo di pressione durante prove con vapore in uscita a titolo inferiore al 100%, è opportuno separare il liquido dal vapore e scaricare separatamente i due fluidi. Allo scopo è previsto un serbatoio di separazione dotato di un ingresso tangenziale e di un deflettore interno per favorire la separazione del liquido. Il serbatoio avrà le seguenti caratteristiche:

Pressione d'esercizio	250 bar
Temperatura d'esercizio	400 °C
Materiale	Acciaio inossidabile
Attacchi	tutti flangiati 1" ANSI 2500

Accessori:

- il serbatoio avrà due prese di pressione con attacchi filettati da ¼" per il collegamento al trasmettitore di livello;
- una valvola di sicurezza tarata a 250 bar con diametro dell'orifizio 8 mm.

### 3.1.6 Gruppi di potenza

L'impianto è dotato di un gruppo di potenza diviso in tre sezioni regolabili in modo autonomo, Fig. 12. Ciascuna sezione è in grado di erogare corrente continua e tensione fino ai seguenti valori massimi:

Corrente	8000 A
Tensione	155 Vdc

La potenza di ciascuna sezione è 1250 kW per un totale di 3720 kW.

La regolazione avviene attraverso un segnale analogico che può gestire la tensione dell'uscita o la corrente erogata.

Il collegamento tra il gruppo di potenza e la zona che ospita le sezioni di prova è realizzato con tubi in rame rigidi, dimensionati per l'intera corrente di 24000 A prodotta dalle tre sezioni collegate in parallelo. Inoltre, ci sono delle linee in cavo flessibile, costituite da più conduttori in parallelo, che consentono di portare, alle sezioni di prova, la corrente dai tre generatori in modo separato. Ciascuna di queste linee flessibili è dimensionata per correnti dell'ordine di 3000 A.



**Fig. 12 - Gruppo di potenza**

### 3.2 Impianto a riscaldamento mediante fluido

Al fine di provare generatori di vapore, caratterizzati da uno scambio termico tra un fluido primario, in fase liquida, ed un fluido secondario, in cambiamento di fase, è necessario integrare l'impianto a riscaldamento elettrico con un sistema per riscaldare le sezioni mediante fluido.

Mentre il fluido secondario è sempre acqua, per il fluido primario sono previste diverse possibilità, in particolare:

- olio diatermico a base siliconica;
- leghe bassofondenti a base di stagno e bismuto (senza piombo e cadmio);
- sali fusi composti da miscele di nitrato di sodio e di potassio [3].

È prevista la realizzazione di un riscaldatore del fluido primario in grado di conferirgli la potenza termica di 440 kW. Si tratta di un riscaldatore a pressione atmosferica, costituito da un contenitore in acciaio inossidabile coibentato, in cui è alloggiata una struttura che supporta i riscaldatori elettrici e la pompa di circolazione.

In Allegato 1, sul lato destro del disegno, è rappresentato lo schema di una generica sezione di prova riscaldata mediante fluido, con il relativo riscaldatore.

In Allegato 3, è riportato un disegno preliminare del riscaldatore del fluido primario.

In Allegato 2, è rappresentato l'impianto, riscaldato a fluido, installato sulla struttura dell'impianto IETI.

### 3.2.1 *Dettagli sui componenti*

Il riscaldatore è costituito da un contenitore cilindrico in acciaio inossidabile con diametro esterno di 273 mm (tubo da 10") e spessore di 3 mm, Allegato 3.

Una struttura con un tubo centrale di diametro esterno 168 mm, che ne costituisce il nucleo portante, è immersa nel contenitore cilindrico. Attorno al tubo centrale, sono fissati, mediante saldatura, setti in lamiera da 5 mm con forature realizzate al laser. Tali forature consentono il passaggio delle barre scaldanti ed il transito del fluido attraverso i setti.

Al di sopra del tratto riscaldato dalle barre, il tubo centrale presenta delle aperture che consentono l'ingresso del fluido che non può attraversare l'ultimo setto, in quanto privo di forature di passaggio.

Dopo essere entrato all'interno del tubo centrale, il fluido risale fino all'aspirazione della pompa. Esso non può scendere, perché il tubo centrale presenta il tratto inferiore sigillato da entrambe le estremità.

La pompa è costituita da una girante centrifuga in camera libera, portata a sbalzo dall'albero di un motore elettrico.

Il fluido, spinto dalla girante, fuoriesce nuovamente dal tubo centrale attraverso finestre praticate sulla parete e ritorna nella zona periferica. Da qui, dopo aver attraversato la zona occupata dalla parte non riscaldata dalle barre, il fluido primario viene raccolto in una zona anulare esterna al tubo di contenimento. Una linea d'uscita invia poi il fluido riscaldato alla sezione di prova.

Superiormente alla zona di uscita, il contenitore cilindrico si eleva per 0.4 m per consentire la formazione di un battente sopra la girante. Il livello in questo spazio deve essere regolato attraverso la corretta carica di fluido all'inizio della prova.

Il sistema è completato da un serbatoio di raccolta dell'eventuale fluido immesso in eccesso e che fuoriesce dal troppo pieno.

Sia il contenitore principale del riscaldatore che il serbatoio di raccolta del troppo pieno possono essere scaricati nel serbatoio principale, in cui il fluido viene stoccato a fine prova.

Il serbatoi di stoccaggio ed il serbatoio del troppo pieno sono riscaldati con resistenze esterne aventi una potenza di circa 40 kW (serbatoio principale) e 4 kW (serbatoio del troppo pieno).

Il serbatoio principale, grazie alle resistenze, può portare a fusione il fluido primario in esso contenuto, nel caso in cui si tratti di sali fusi o metalli, e mantenerlo in tale stato nei periodi di pausa, se brevi, del funzionamento dell'impianto di prova.

Nel serbatoio del troppo pieno si può accumulare fluido che viene mantenuto liquido fino a quando è possibile scaricarlo nel serbatoio principale.

Per entrambi questi serbatoi saranno utilizzati elementi scaldanti a fascia, realizzati con elementi corazzati agganciati meccanicamente alla superficie esterna dei serbatoi al di sotto dello strato di coibentazione.

La movimentazione del fluido dal serbatoio principale avviene mediante azoto compresso in bombole che, attraverso valvole manuali, pressurizza il serbatoio principale e permette di trasferire la giusta quantità di fluido nel contenitore del riscaldatore e nella sezione di prova.

Per evitare fenomeni ossidativi, grazie ad un leggero flussaggio, è sempre mantenuto azoto sulla superficie del fluido contenuto nel riscaldatore e nel serbatoio del troppo pieno.

Tutti i volumi e le linee, destinati a contenere fluido primario, sono coibentate con lana di roccia biosolubile, con finitura esterna in lamierino d'alluminio. Lo spessore della coibentazione è di 120 mm sui componenti principali e di 80 mm sui tratti di minori dimensioni.

I tratti di tubazione, che collegano i diversi componenti contenenti fluido primario, sono provvisti di riscaldatori elettrici posati sulla superficie del tubo, al di sotto della coibentazione. La potenza unitaria di

questi riscaldatori è di circa  $500 - 1000 \text{ W/m}^2$  per vincere le dispersioni e garantire nelle tubazioni una temperatura di almeno  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

I riscaldatori sono costituiti da filo in lega di nickel-cromo, isolato mediante elementi tubolari in ceramica. Questa tipologia di riscaldatori è alimentata con tensione verso terra minore di 48 Vdc.

La pompa è centrifuga, con la girante in camera libera, ed il motore che sostiene l'albero è flangiato al coperchio superiore in modo da poter estrarre agevolmente la pompa, da sola o unitamente ai riscaldatori.

Il riscaldatore è connesso al contenitore che accoglie la sezione di prova, per formare un circuito in cui circola il fluido primario. E' previsto un misuratore di portata a tubo di venturi.

La movimentazione del fluido termovettore, durante le fasi di carico e scarico del riscaldatore e della sezione di prova, avviene mediante un serbatoio di raccolta riscaldato elettricamente, posizionato ad un livello inferiore rispetto al circuito. Questo serbatoio può contenere tutto il fluido primario presente nell'impianto e, grazie ad un sistema di pressurizzazione ad azoto, può immettere il fluido nel circuito.

L'insieme dei dispositivi è completato da un bacino di raccolta aperto, sottostante a tutto l'impianto, in grado di raccogliere le eventuali perdite di fluido termovettore.

I riscaldatori sono costituiti da resistenze isolate, con le stesse caratteristiche costruttive e lo stesso flusso massimo delle barre scaldanti previste per l'impianto SPES-3, provate sperimentalmente alla SIET come descritto in [4].

La lunghezza del tratto riscaldato è circa 2.2 m (inferiore rispetto alle barre di SPES-3), per cui la potenza unitaria non può superare i 15 kW a causa della minor superficie. Con 48 barre, la potenza totale erogabile può arrivare fino a 720 kW (15 kW x 48 barre), superiore ai 440 kW previsti.

## 4 SISTEMA DI MISURA, REGOLAZIONE E CONTROLLO

### 4.1 Descrizione generale

Il sistema di misura, regolazione e controllo è impiegato per la gestione dell'impianto, l'effettuazione delle misure e la regolazione dei processi atti a determinare le corrette condizioni di esercizio. Attraverso questo sistema, gli operatori visualizzano le informazioni, eseguono alcune azioni e conducono l'esercizio dell'impianto in condizioni di sicurezza.

Questo capitolo descrive il sistema di misura, regolazione e controllo previsto per la versione dell'impianto, che prevede sezioni di prova riscaldate direttamente mediante corrente elettrica.

Lo stesso hardware sarà comunque implementabile per la versione di impianto con riscaldamento a fluido primario.

Il sistema è costituito da dispositivi eterogenei con funzioni specifiche ed in grado di scambiare informazioni tra loro:

- sistema di acquisizione ed elaborazione dati (SAED);
- regolatori di processo programmabili;
- controllore logico programmabile (PLC).

Ogni dispositivo è interconnesso agli altri sia attraverso collegamenti hardware tra ingressi e uscite, sia mediante un bus di comunicazione con protocollo standard.

Lo schema a blocchi del sistema di misura, regolazione e controllo è mostrato in Fig. 13.

### 4.2 Elenco delle misure

L'impianto ha come scopo lo studio dello scambio termico in fasci tubieri di generatori di vapore a tubi elicoidali o geometrie simili (sezione di prova).

Le prove vengono realizzate sia in condizioni stazionarie sia in transitorio di pressione, temperatura, portata e potenza scambiata, in particolare con:

- modulazione della potenza erogata allo scambiatore;
- modulazione della pressione di esercizio;
- modulazione delle condizioni di scambio termico.

Ogni test è caratterizzato dalle seguenti condizioni operative:

- warm-up da temperatura ambiente e pressione atmosferica fino alle condizioni nominali;
- stazionario alle condizioni nominali;
- transitorio di un parametro di controllo;
- shutdown.

Il sistema di misura, regolazione e controllo dell'impianto deve soddisfare le seguenti esigenze:

- garantire l'esercizio dell'impianto in condizioni di sicurezza per gli operatori e per le apparecchiature;
- realizzare le condizioni termodinamiche alla sezione di prova, previste dalle specifiche di progetto del generatore di vapore;
- realizzare le verifiche funzionali dei dispositivi in esame con misurazioni affidabili;

- acquisire le grandezze di prova.

La scelta di ogni elemento del sistema di misura, regolazione e controllo è fatta analizzando gli aspetti elencati in Tab. 1.

**Tab. 1 - elementi di valutazione per la scelta della strumentazione**

esigenze di misura	tipo delle misure da realizzare
	velocità dei fenomeni da misurare
	incertezza
esigenze di processo	grandezze da regolare
	attuatori disponibili
interventi di sicurezza	condizioni di funzionamento critiche

### 4.3 Strumentazione per l'esecuzione delle misure

#### 4.3.1 Misure di temperatura

Sono previsti due tipi di misure di temperatura: di fluido, per la determinazione dei valori termoidraulici di esercizio, e di parete, per la verifica delle condizioni di scambio termico.

Le termocoppie usate per la misura della temperatura della parete interna sono applicate mediante brasatura, mentre quelle per la misura della temperatura della parete esterna sono saldate direttamente a contatto con la superficie. Tutte le misure di temperatura sono realizzate mediante termocoppie a giunto isolato. I dispositivi hardware, a cui sono collegate, dovranno essere in grado di sopportare il potenziale elettrico di alcune centinaia di Volt che si genera in caso di perdita dell'isolamento elettrico.

Il condizionamento del segnale elettrico delle termocoppie di fluido è realizzato direttamente dalla scheda di acquisizione dati, che è provvista di un sistema per la compensazione della temperatura del giunto freddo.

#### 4.3.2 Misure di pressione relativa

Le misure di pressione relativa sono realizzate con trasmettitori di pressione relativa. Alle quote di progetto, sono realizzate delle penetrazioni, prese manometriche, a cui verrà saldato un tubo manometrico in AISI304 o AISI316 (D=8mm;d=5mm) per l'inserimento del raccordo di giunzione idraulica.

Ad ogni spezzone di tubo è collegata una valvola di radice, al fine di poter escludere la linea durante le fasi di manutenzione e di verifica. Un tratto di tubo verticale discendente collega ogni linea manometrica con gli strumenti.

Tutte le linee manometriche, installate nel tratto elettricamente attivo della sezione di prova, sono realizzate in kevlar al fine di garantire l'isolamento elettrico tra la sezione di prova ed i dispositivi di misura.

I trasmettitori di pressione sono alloggiati in un'apposita rastrelliera e dotati di manifold per la gestione delle operazioni di riempimento delle linee manometriche ed estrazione di gas (aria) dalle stesse.

Il segnale in corrente degli strumenti è cablato in una morsettiera con resistenze di precisione e derivato agli ingressi del sistema di acquisizione dati, dove il segnale elettrico è convertito nella misura ingegneristica dalle routine implementate direttamente all'interno del programma software.

Il valore della pressione assoluta si ottiene sommando alla pressione relativa il valore convenzionale della pressione atmosferica fissato 1.013 bar.

#### **4.3.3 Misure di pressione differenziale, di livello e di portata**

Le misure di pressione differenziale, di livello e di portata, mediante organi di strozzamento, sono realizzate con trasmettitori di pressione differenziale. Si utilizzano le prese e le linee manometriche usate per le misure di pressione assoluta. I trasmettitori di pressione sono alloggiati in una apposita rastrelliera.

Il segnale in corrente degli strumenti è cablato in una morsettiera con resistenze di precisione e derivato agli ingressi del sistema di acquisizione dati dove il segnale elettrico è convertito nella misura ingegneristica dalle routine direttamente implementate all'interno del programma software.

#### **4.3.4 Misure di portata**

L'impianto è dotato di un misuratore di portata volumetrica ad effetto Coriolis. Il segnale in corrente è cablato in una morsettiera con resistenze di precisione e derivato agli ingressi del sistema di acquisizione dati, dove il segnale elettrico è convertito nella misura ingegneristica dalle routine direttamente all'interno del programma software.

#### **4.3.5 Misure elettriche**

Le misure elettriche comprendono:

- la corrente elettrica alla sezione di prova;
- il potenziale elettrico sulla sezione di prova;
- la potenza elettrica fornita alla sezione di prova;
- la corrente elettrica al preriscaldatore;
- il potenziale elettrico al preriscaldatore;
- la potenza elettrica al preriscaldatore.

#### **4.3.6 Misura della corrente elettrica alla sezione di prova**

La sezione di prova è alimentata da un generatore di corrente continua a controllo di fase. La misura di corrente elettrica erogata alla sezione di prova è realizzata con shunt il cui segnale è condizionato con un amplificatore di isolamento.

#### **4.3.7 Misura del potenziale elettrico sulla sezione di prova**

Il potenziale elettrico è prelevato agli estremi della sezione di prova e condizionato con un amplificatore di isolamento.

#### **4.3.8 Misura della potenza elettrica fornita alla sezione di prova**

I valori di corrente e di potenziale elettrico sono campionati con frequenza elevata (10kHz) e trattati da una routine software per ottenere i valori RMS da usare per il calcolo della potenza elettrica fornita alla sezione di prova.

#### **4.3.9 Misura della corrente elettrica al preriscaldatore**

Il preriscaldatore è energizzato da un generatore di corrente continua a controllo di fase. La misura di corrente elettrica erogata alla sezione di prova è realizzata con shunt il cui segnale è condizionato con un amplificatore di isolamento.

#### **4.3.10 Misura del potenziale elettrico sul preriscaldatore**

Il potenziale elettrico è prelevato agli estremi del preriscaldatore e condizionato con un amplificatore di isolamento.

#### **4.3.11 Misura della potenza elettrica fornita alla sezione di prova**

I valori di corrente e di potenziale elettrico relativi al preriscaldatore sono campionati con frequenza elevata (10kHz) e trattati da una routine software per ottenere i valori RMS da usare per il calcolo della potenza elettrica al preriscaldatore.

### **4.4 Loop di regolazione**

L'impianto dispone dei seguenti sistemi di regolazione:

- PV1 bypass pompa alimento;
- PV2.1 mandata pompa alimento (linea piccola);
- PV2.2 mandata pompa alimento (linea grande);
- PV3 pressione impianto (linea piccola);
- PV4 pressione impianto (linea grande);
- PV5 livello liquido corpo cilindrico;
- WIC1 potenza elettrica preriscaldatore
- WIC2 potenza elettrica sezione di prova (tratto iniziale)
- WIC3 potenza elettrica sezione di prova (tratto finale)

I regolatori di processo utilizzati in tutti i loop sono di tipo programmabile, dotati di interfaccia di comunicazione e sono cablati su 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 sia automatica.

#### **4.4.1 Loop PV1 - bypass pompa alimento**

La pompa di alimento principale è dotata di una linea di by-pass completa di valvola pneumatica proporzionale. La valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di pressione all'ingresso dello scambiatore.

#### **4.4.2 Loop PV2.1 - mandata pompa alimento linea piccola**

La portata in ingresso alla sezione di prova si regola mediante due valvole pneumatiche proporzionali installate su due differenti linee. Il loop PV2.1 identifica la linea piccola dotata di una valvola con CV 0.25-0.30. Questa valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di portata all'ingresso della sezione di prova.

#### **4.4.3 Loop PV2.2 - mandata pompa alimento linea grande**

La portata in ingresso alla sezione di prova si regola mediante due valvole pneumatiche proporzionali installate su due differenti linee. Il loop PV2.2 identifica la linea grande dotata di una valvola con CV 0.02-0.05. Questa valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di portata all'ingresso della sezione di prova.

#### **4.4.4 Loop PV3 - pressione impianto linea grande**

La pressione nella sezione di prova si regola mediante due valvole pneumatiche proporzionali installate su due differenti linee. Il loop PV3 identifica la linea grande dotata di una valvola con CV 3. Questa valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di pressione all'ingresso della sezione di prova.

#### **4.4.5 Loop PV4 - pressione impianto linea piccola**

La pressione nella sezione di prova si regola mediante due valvole pneumatiche proporzionali installate su due differenti linee. Il loop PV4 identifica la linea piccola dotata di una valvola con CV 0.08. Questa valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di pressione all'ingresso della sezione di prova.

#### **4.4.6 Loop PV5 - livello corpo cilindrico**

Il livello di liquido nel corpo cilindrico si mantiene al corretto valore di esercizio mediante la valvola PV5. Questa valvola è comandata da un regolatore di processo PID la cui variabile di controllo è il valore di livello misurato all'interno del componente.

#### **4.4.7 Loop WIC1 – potenza elettrica al preriscaldatore**

La potenza elettrica al preriscaldatore è erogata dal modulo N.1 del gruppo di potenza TAMINI. Questo gruppo di potenza è costituito da un trasformatore con secondario esafase e da tre moduli di raddrizzamento a controllo di fase. Ogni modulo di raddrizzamento è costituito da sei linee di diodi controllati (SCR). La corrente in uscita dal modulo è la sommatoria vettoriale delle correnti raddrizzate. Il circuito elettronico di eccitazione viene pilotato con un segnale normalizzato in corrente (4÷20mA) generato da un regolatore di processo PID a singola azione pilotato manualmente dagli operatori o in modo automatico direttamente dal programma di gestione impianto.

#### **4.4.8 Loop WIC2 – potenza elettrica alla sezione di prova (tratto iniziale)**

La potenza elettrica alla sezione di prova è erogata dal modulo N.2 del gruppo di potenza TAMINI. Il circuito elettronico di eccitazione di questo modulo viene pilotato con un segnale normalizzato in corrente (4÷20mA) generato da un regolatore di processo PID a singola azione pilotato manualmente dagli operatori o in modo automatico direttamente dal programma di gestione impianto.

#### **4.4.9 Loop WIC3 – potenza elettrica alla sezione di prova (tratto finale)**

La potenza elettrica alla sezione di prova è erogata dal modulo N.3 del gruppo di potenza TAMINI. Il circuito elettronico di eccitazione di questo modulo viene pilotato con un segnale normalizzato in corrente (4÷20mA) generato da un regolatore di processo PID a singola azione pilotato manualmente dagli operatori o in modo automatico direttamente dal programma di gestione impianto.

### **4.5 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. I parametri di impianto che vengono controllati sono i seguenti:

- massima pressione di impianto;

- massima temperatura in ingresso alla sezione di prova;
- massima temperatura sulla superficie della sezione di prova;
- minima temperatura sulla superficie della sezione di prova;
- minima portata in ingresso alla sezione di prova;
- massima corrente elettrica al preriscaldatore;
- massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto iniziale);
- massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto finale);
- massimo potenziale elettrico al preriscaldatore;
- massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto iniziale);
- massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto finale).

Il sistema di controllo dell'impianto è realizzato utilizzando un PLC dotato di interfaccia di comunicazione e cablato su bus standard attraverso il quale comunica con il software di controllo in esecuzione su un personal computer. I valori di set-point per tutte le grandezze controllate sono definiti durante le fasi preliminari di collaudo e messa a punto dell'impianto (shake down).

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

#### **4.5.1 *Massima pressione di impianto***

La massima pressione di impianto viene rilevata mediante un pressostato a doppio contatto normalmente chiuso. Al raggiungimento della pressione di soglia i contatti si aprono. Il pressostato è idraulicamente collegato ad una presa manometrica installata all'uscita del preriscaldatore.

#### **4.5.2 *Massima temperatura ingresso sezione di prova***

La misura di temperatura dell'acqua in ingresso allo scambiatore è confrontata con il valore di soglia definito ad una decina di gradi al di sotto della temperatura di progetto della sezione di prova. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della corrente elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.3 *Minima e massima temperatura superficie sezione di prova***

Le misure di temperatura delle pareti interne ed esterne della sezione di prova vengono confrontate con due valori di soglia, minimo e massimo. Il confronto con il valore minimo serve a determinare la possibile formazione di cristalli di ghiaccio all'interno della sezione di prova, mentre il confronto con il valore massimo permette di identificare il raggiungimento di una condizione di crisi termica. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con i valori di soglia prestabiliti e genera un segnale di allarme, che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della corrente elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.4 *Minima portata in ingresso alla sezione di prova***

La misure di portata di liquido in ingresso alla sezione di prova è confrontata con un valore di soglia al di sotto del quale deve essere interrotta l'erogazione di potenza elettrica. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con i valori di soglia prestabiliti e genera un segnale di allarme che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della corrente elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.5 *Massima corrente elettrica al preriscaldatore***

La misura di corrente elettrica erogata al preriscaldatore viene confrontata con un valore di soglia che rappresenta la massima corrente elettrica che questo componente può sopportare. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della potenza elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.6 *Massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto iniziale)***

La misura di corrente elettrica erogata al tratto iniziale della sezione di prova viene confrontata con un valore di soglia che rappresenta la massima corrente elettrica che la sezione di prova, costituita dal tratto iniziale dello scambiatore, può sopportare. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della potenza elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.7 *Massima corrente elettrica alla sezione di prova (tratto finale)***

La misura di corrente elettrica erogata al tratto finale della sezione di prova viene confrontata con un valore di soglia che rappresenta la massima corrente elettrica che la sezione di prova, costituita dal tratto finale dello scambiatore, può sopportare. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme, che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera le azioni di interruzione della potenza elettrica erogata da tutti i moduli del generatore di potenza.

#### **4.5.8 *Massimo potenziale elettrico al preriscaldatore***

La misura del potenziale elettrico applicato al preriscaldatore viene confrontato con il valore massimo ammissibile per il modulo N.3 del generatore di potenza. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica erogata dal modulo n.3 del generatore di potenza.

#### **4.5.9 *Massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto iniziale)***

La misura del potenziale elettrico applicato al tratto iniziale della sezione di prova viene confrontato con il valore massimo ammissibile per il modulo n.2 del generatore di potenza. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme, che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica erogata dal modulo N.2 del generatore di potenza.

#### **4.5.10 *Massimo potenziale elettrico alla sezione di prova (tratto finale)***

La misura del potenziale elettrico applicato al tratto finale della sezione di prova viene confrontato con il valore massimo ammissibile per il modulo n.1 del generatore di potenza. Il programma di gestione impianto elabora la misura, la confronta con il valore di soglia prestabilito e genera un segnale di allarme, che viene inviato al PLC attraverso la comunicazione digitale. Alla ricezione di questa informazione il PLC genera la azione di interruzione della potenza elettrica erogata dal modulo N.1 del generatore di potenza.

## 4.6 Componenti del sistema di misura, regolazione e controllo

### 4.6.1 Regolatori di processo

Ogni loop di regolazione automatica previsto nell'impianto è dotato di un proprio regolatore di processo. Le caratteristiche principali dei regolatori di processo utilizzati sono indicate in Tab. 2.

**Tab. 2 – Caratteristiche dei regolatori di processo**

Loop tag	Descrizione	Numero ingressi	Uscite	Funzione di controllo
PV1	bypass pompa alimento;	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
PV2.1	mandata pompa alimento (linea piccola);	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
PV2.2	mandata pompa alimento (linea grande);	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
PV3	pressione impianto (linea piccola);	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
PV4	pressione impianto (linea grande);	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
PV5	livello liquido corpo cilindrico;	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
WIC1	potenza elettrica preriscaldatore	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
WIC2	potenza elettrica scambiatore (tratto iniziale)	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID
WIC3	potenza elettrica scambiatore (tratto finale)	1	3 (corrente, tensione, relè)	PID

### 4.6.2 Controllore logico programmabile (PLC)

Il sistema di controllo di marcia/arresto delle macchine e degli attuatori utilizzati in questo impianto è un Controllore Logico Programmabile (PLC) che si collega, attraverso il bus industriale PROFIBUS, alla preesistente rete aziendale di PLC. Questo PLC si integra nella preesistente rete come SLAVE e le sue funzioni sono prevalentemente di distribuzione dei comandi verso il PLC MASTER. Questo controllore è dotato di ingressi digitali per la raccolta delle informazioni sullo stato dei pulsanti di marcia/arresto delle macchine e di uscite digitali per il comando delle lampade di segnalazione. L'integrazione nella preesistente rete avviene attraverso una porta di comunicazione PROFIBUS DP. Attraverso due porte seriali si collega con protocollo MODBUS all'elaboratore principale che funge da gestore impianto. Il programma software operativo è realizzato da personale SIET.

Le caratteristiche principali di questo dispositivo sono riportate in Tab. 3.

**Tab. 3 – Caratteristiche del PLC**

Componente	Quantità	Tipo
CPU	1	24V dc
Ingressi digitali	32	DC 24V
Uscite digitali	32	DC 24V
Porte seriali	2	RS485
Porte PROFIBUS	1	DP
Memoria dati	10kB	Interna
Memoria programma	124kB	Interna
Possibili espansioni	7 unità	interna

#### 4.6.3 Sistema di acquisizione ed elaborazione dati

Il sistema di acquisizione ed elaborazione dati (SAED) raccoglie i segnali provenienti dalla strumentazione di misura e provvede a distribuire le informazioni elaborate:

- campionamento dei segnali;
- elaborazione delle misure in grandezze ingegneristiche;
- monitoraggio delle misure e delle informazioni elaborate sia in formato numeri sia grafico;
- controllo dei parametri di sicurezza associati alle misure;
- scambio dati con il PLC;
- scambio dati con i regolatori di processo;
- salvataggio dei dati su file.

I componenti principali che costituiscono il sistema sono:

- unità di acquisizione dati misure lente;
- unità di acquisizione dati misure elettriche;
- unità di elaborazione dati;
- interfaccia PROFIBUS;
- moduli software di acquisizione ed elaborazione delle informazioni

In funzione delle caratteristiche di misura da realizzare l'unità di acquisizione dati delle misure lente (temperature e pressioni) viene realizzata con un sistema hardware standard di tipo modulare con le caratteristiche riportate in Tab. 4.

**Tab. 4 – Caratteristiche del SAED**

Componente	Quantità	Tipo	Costruttore	Modello
Chassis	1	PXI/SCXI	National Instruments	
CPU	1	PXI	National Instruments	PXI-8108
DAQ	1	PXI 1MS/s	National Instruments	PXI-6259
Ingressi analogici	224	SCXI	National Instruments	SCXI-1102
Connettori analogici	7x32	SCXI	National Instruments	SCXI-1303
Porte PROFIBUS	1		COMSOFT	DFPROFI II

L'unità di acquisizione delle misure elettriche è realizzata mediante una scheda di acquisizione dati multipurpose integrata nella unità di elaborazione dati, Tab. 5.

**Tab. 5 – Caratteristiche dell'unità di acquisizione**

Componente	Quantità	Tipo	Costruttore	Modello
DAQ	1	PCI	National Instruments	PCI-6259
Ingressi analogici	16	differenziali	National Instruments	
Ingressi/uscite digitali	42	5V TTL	National Instruments	
Uscite analogiche	4	0 ÷ 10Vdc	National Instruments	
Connettore	1	a vite	National Instruments	CB-68LP

L'unità di elaborazione dati è costituita da un personal computer che dovrà alloggiare sia la scheda che rappresenta l'unità di acquisizione delle misure elettriche, sia la scheda di interfaccia PROFIBUS. Questo computer è dotato di video utilizzato per il monitoraggio delle misure e delle informazioni. Il computer è, inoltre, corredato di una scheda di interfaccia seriale RS485, necessaria allo scambio dei dati tra il programma di acquisizione dati ed i regolatori di processo.

La scheda di interfaccia PROFIBUS è il dispositivo hardware, che permette lo scambio dati tra il programma di acquisizione ed elaborazione dati e la rete di PLC.

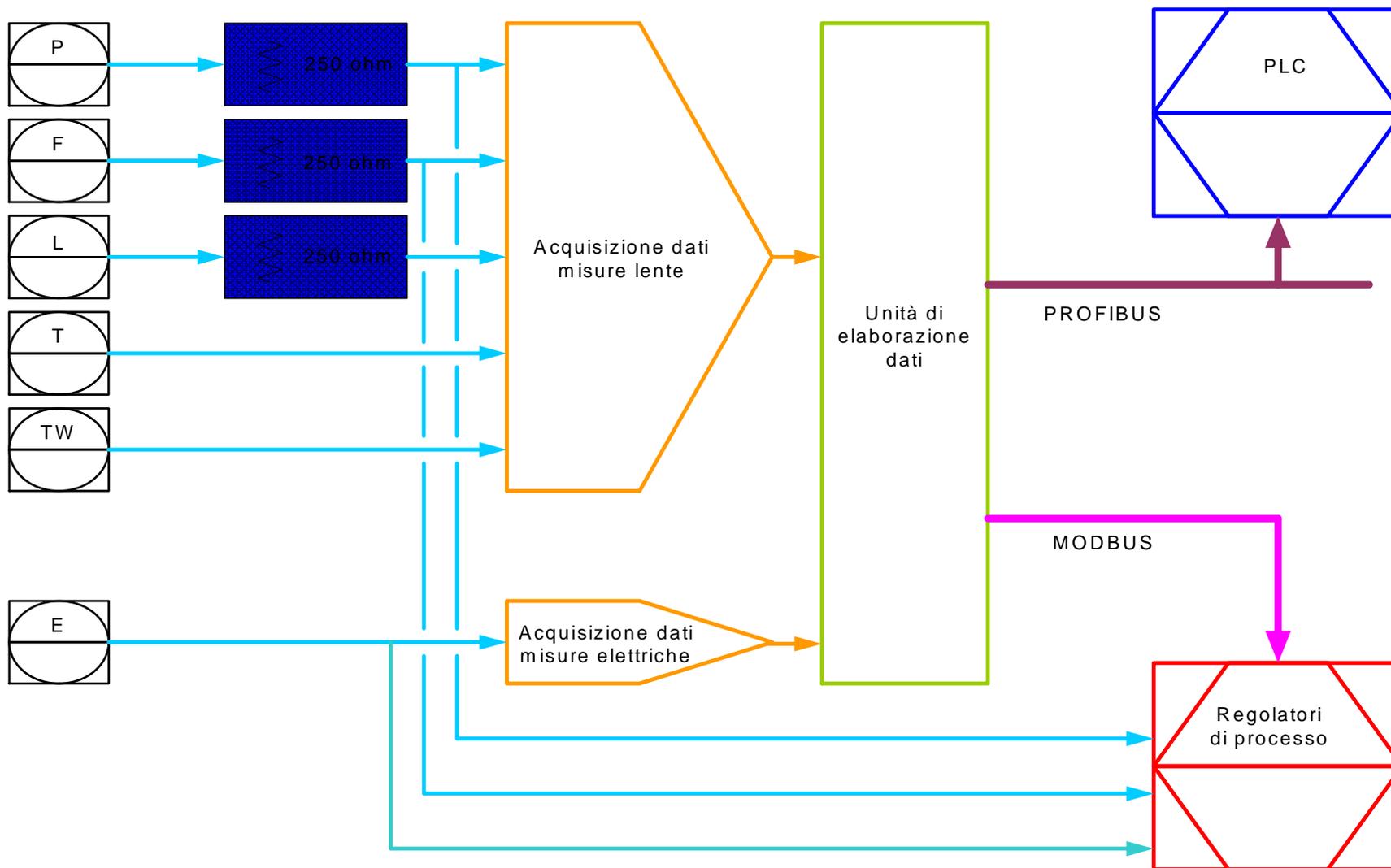


Fig. 13 - Schema a blocchi del Sistema di Misura, Regolazione e Controllo

## 5 ATTIVITA' PROGRAMMATE

La realizzazione della facility SP&DE inizia dalla configurazione a flusso imposto. In particolare, le attività ordinate dal CIRTEN e finanziate nell'ambito del PAR 2008 - 2009 includono alcuni lavori di manutenzione su componenti esistenti e di predisposizione dell'area, finalizzati ad avviare la realizzazione della facility.

Le attività sono sintetizzate nei punti seguenti.

### 5.1.1 *Bonifica della caldaia elettrica*

Le fasi dell'attività sono state definite ipotizzando che il materiale presente sulla caldaia non contenga fibre d'amianto o fibre ceramiche.

L'attività si articola nelle seguenti fasi:

- a) analisi delle fibre di lana di roccia per determinarne il diametro, ai fini di verificarne la respirabilità ed escludere la presenza di amianto o fibre ceramiche;
- b) allestimento del confinamento provvisorio per limitare la dispersione di fibre;
- c) rimozione della lana da parte di personale specializzato;
- d) pulizia dell'area confinata mediante aspiratori a filtri assoluti;
- e) rimozione del confinamento;
- f) conferimento in discarica dei materiali rimossi.

### 5.1.2 *Riparazione delle coibentazioni danneggiate*

Nell'area d'interesse sono presenti alcune tubazioni coibentate in lana di roccia con rivestimento in lamierino d'alluminio, a tratti, sconnesse o danneggiate. E' previsto il riposizionamento degli elementi in alluminio, rimossi ma ancora presenti in zona, e la ricostruzione delle parti in alluminio mancanti.

### 5.1.3 *Pulizia dell'area*

Pulizia dell'area in cui sarà realizzata la facility SP&DE e di quelle immediatamente adiacenti, mediante aspiratore.

### 5.1.4 *Riattivazione del carro ponte*

L'attività si articola nelle seguenti fasi:

- a) ripristino dell'alimentazione elettrica;
- b) pulizia esterna e pulizia degli organi a contatto con la fune;
- c) controllo della fune;
- d) lubrificazione della fune;
- e) verifica dei finecorsa;
- f) lubrificazione dei meccanismi di traslazione;
- g) prova di funzionamento con carico;
- h) richiesta di rimessa in servizio presentata ad ISPEL e ASL.

### 5.1.5 *Rimozione della sezione di prova esistente*

L'attività si articola nelle seguenti fasi:

- a) rimozione temporanea del preriscaldatore che si trova davanti alla zona che ospita le sezioni di prova;
- b) rimozione temporanea del pannello in lamiera zincata che chiude anteriormente la zona sezioni;
- c) smontaggio delle linee di alimentazione idraulica ancora collegate;
- d) smontaggio delle terminazioni in rame destinate al collegamento elettrico;

- e) rimozione della sezione di prova mediante il carroponete e sua deposizione su un carrello per il trasporto;
- f) riposizionamento del pannello di delimitazione;
- g) riposizionamento del preriscaldatore.

### 5.1.6 **Manutenzione della pompa P2**

La pompa volumetrica ad alta pressione P2, impiegata per l'alimentazione delle sezioni di prova della facility, è uno dei componenti pregiati dell'impianto e necessita di adeguate operazioni di manutenzione straordinaria. Le operazioni saranno eseguite in parte presso le officine del Costruttore (Peroni Pompe SpA) ed in parte presso la sede SIET e vedrà coinvolti sia gli specialisti del Costruttore, sia il personale SIET.

L'attività si articola nelle seguenti fasi:

- a) smontaggio delle linee di ingresso e uscita;
- b) rimozione delle cinghie di trasmissione;
- c) rimozione della pompa;
- d) manutenzione in officina specializzata.

In officina si verificherà quali parti sono usurate e necessitano di sostituzione.

Con riferimento alla Fig. 14, i pezzi di cui attualmente si prevede la sostituzione con organi nuovi sono:

- n° 1 bronzina di biella;
- n° 1 biella;
- n° 1 kit completo + tenute O-Ring colonna valvola;
- n° 1 kit completo pacco premistoppa ant. & posteriore;
- n° 3 pistoni idraulici;
- n° 3 Lanterne di lavaggio;
- n° 3 ghiera regolazione pacco anteriore;
- n° 3 ghiera regolazione pacco posteriore;
- (x kit è inteso la quantità necessaria per il completamento della pompa)

Gli interventi che verranno eseguiti in officina sono in sintesi i seguenti:

- a) smontaggio componenti di idraulica e manovellismo;
- b) pulizia dei componenti smontati;
- c) controllo dei componenti;
- d) stesura condizioni di stato componenti controllati;
- e) elenco parti da ripristinare e/o da sostituire;
- f) montaggio dei componenti nuovi o ripristinati;
- g) collaudo del gruppo;
- h) verniciatura.

Successivamente la pompa sarà riconsegnata a SIET per le fasi di installazione che includono:

- a) collocazione della pompa sul basamento;
- b) allineamento e tensionatura cinghie;
- c) collegamento connessioni idrauliche;
- d) manutenzioni smorzatori con sostituzione della "vescica" interna e ricarica con azoto.

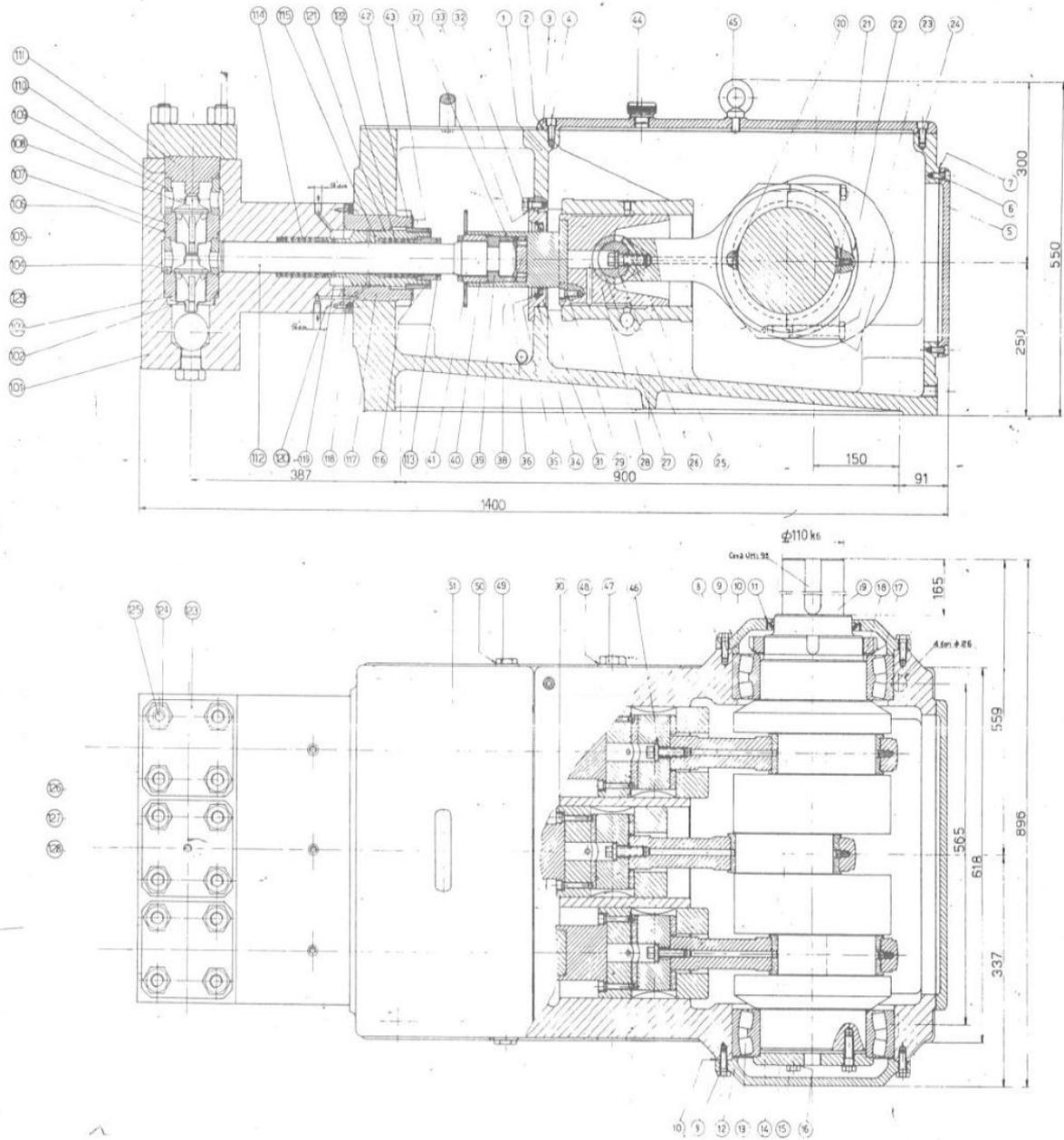


Fig. 14 - Disegno della pompa P2

## 6 CONCLUSIONI

Il documento descrive il progetto dell'impianto SP&DE con le relative fasi costruttive.

Due possibili configurazioni sono esaminate per l'esecuzione di prove termoidrauliche di base, su tubi di generatori di vapore di reattori SMR e di IV generazione. In particolare, una configurazione più semplice, a flusso imposto e una più complessa, a temperatura imposta.

La configurazione a flusso imposto, cioè a riscaldamento elettrico della sezione di prova, sarà realizzata per prima e poi successivamente integrata con la configurazione a riscaldamento della sezione di prova tramite fluido.

Il progetto dell'impianto prevede l'utilizzo di spazi e apparecchiature dell'impianto IETI (già operativo presso i laboratori della SIET) e definisce i necessari lavori di adeguamento alle attuali esigenze, con particolare riferimento agli specifici interventi di manutenzione sui componenti esistenti. La prima fase dei suddetti interventi è attuata nell'ambito del presente contratto.

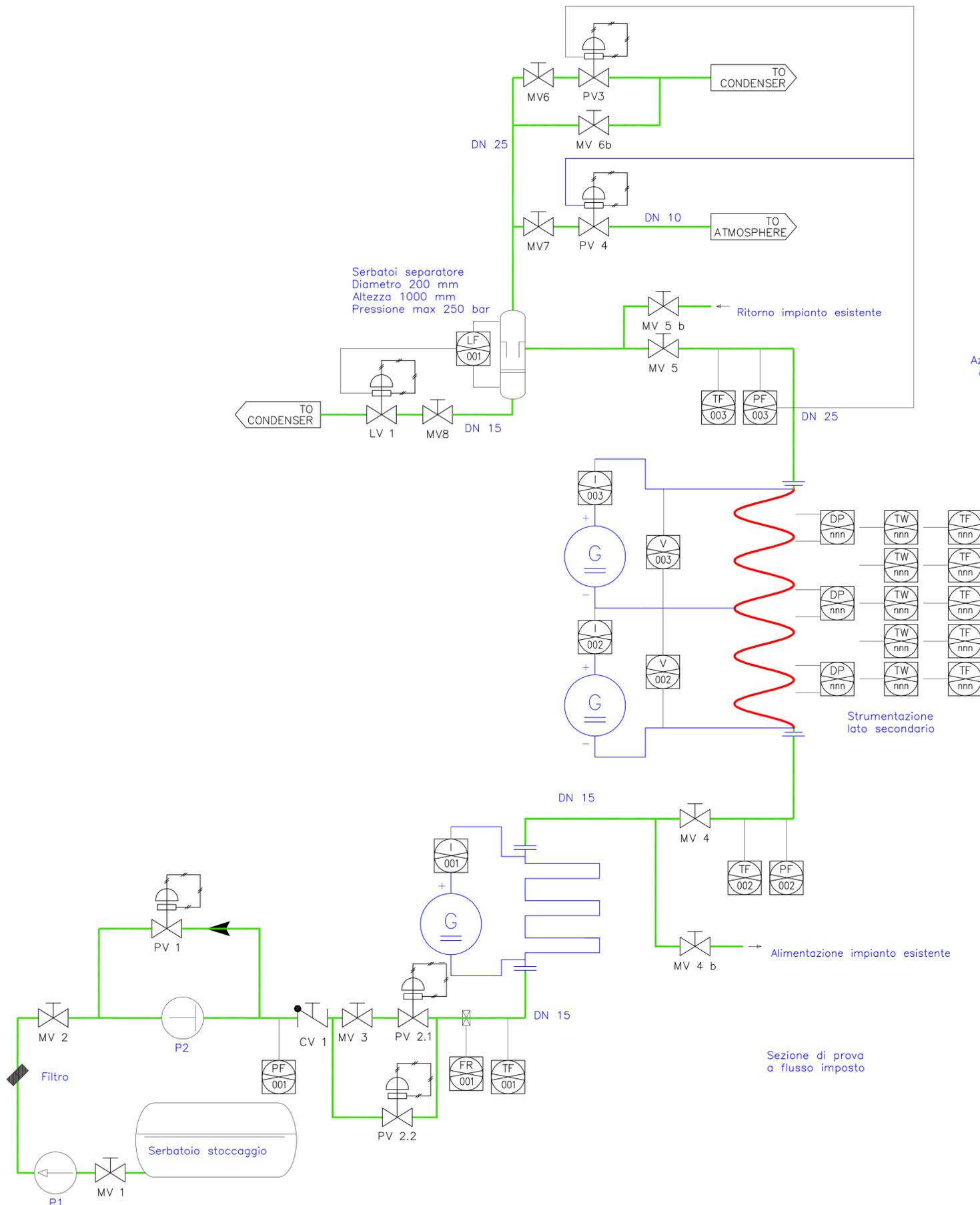
Per poter procedere alle prove, il circuito dovrà essere completato approvvigionando ed installando il materiale mancante e realizzando il sistema di acquisizione dati e controllo.

## 7 BIBLIOGRAFIA

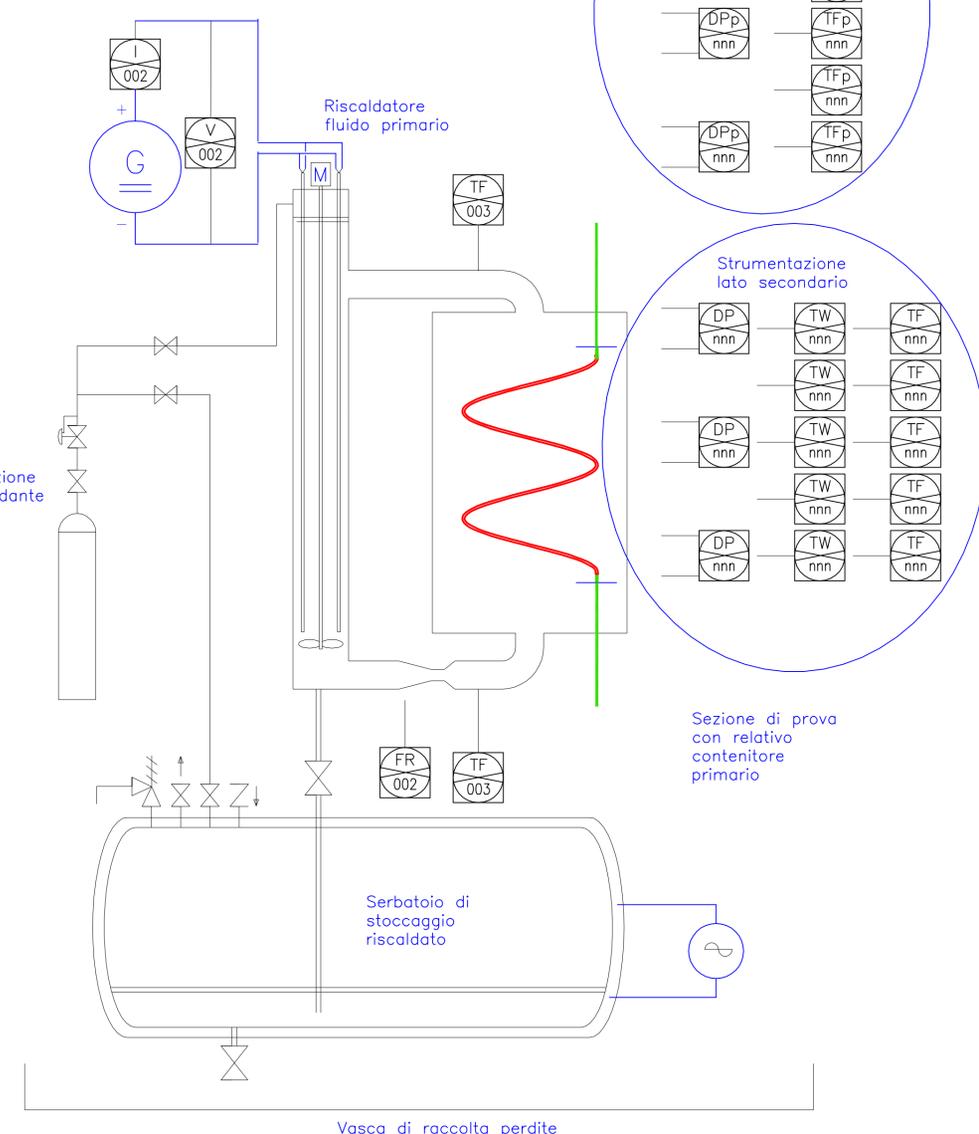
- [1] CERSE/POLIMI RL-1135/2010 (ENEA NNFISS-LP2-039): Design of a new experimental facility. Milano, Agosto 2010.
- [2] Norma UNI EN 1257 "Valvole. Prova di resistenza al flusso con l'uso di acqua come fluido di prova".
- [3] SIET document 01 155 RT 04 Rev.0: Implementazione dei sali fusi nel codice Relap5 e verifica della sua funzionalità, 15/07/2004.
- [4] SIET document 01 725 RP 11 Rev.0: Verifica sperimentale di prototipi di barre scaldanti per l'impianto SPES-3, 6/9/2011.

## Allegato 1

Impianto sperimentale SP&DE: schema di flusso (disegno SIET 081-01-00 rev0)



Azoto per movimentazione e flussaggio antiossidante



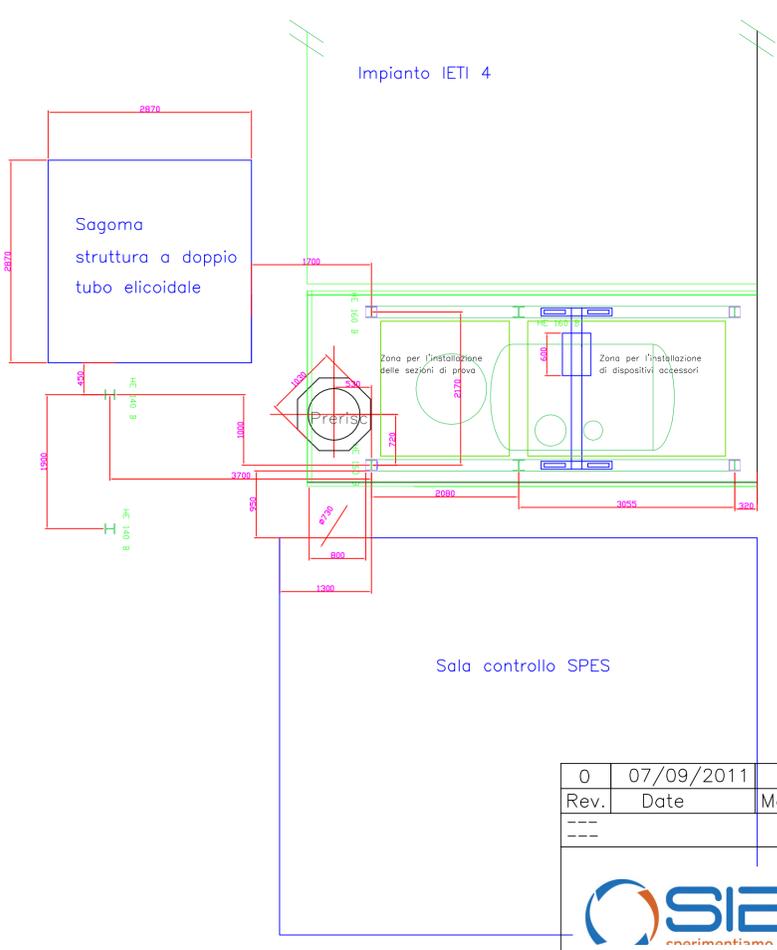
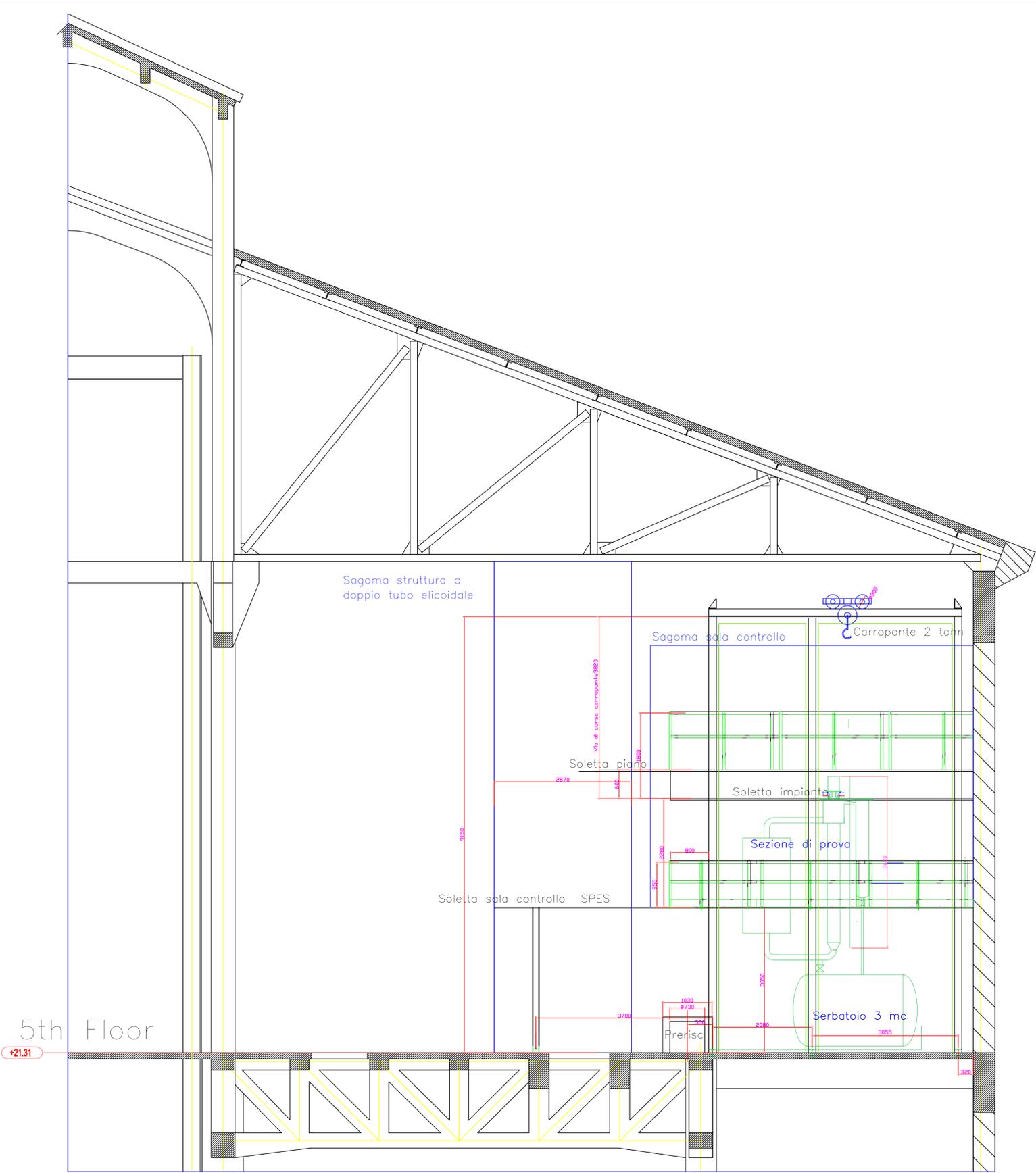
Sezione di prova con relativo contenitore primario

Sezione di prova a temperatura imposta con fluido primario:  
 - olio diatermico,  
 - sale fuso,  
 - metallo liquido.

0	07/09/2011	Issue	A. Achilli		
Rev.	Date	Modified	Dftm.	Controll.	Approv.
---					
			Impianto sperimentale SP&DE Schema di flusso Piacenza - Italy		
Scale	Dwg_code	File	General code		
---	081.01.00	081.01.00rev0.dwg			

## Allegato 2

Impianto sperimentale SP&DE: struttura di supporto (disegno SIET 081-00-00/1 rev0)

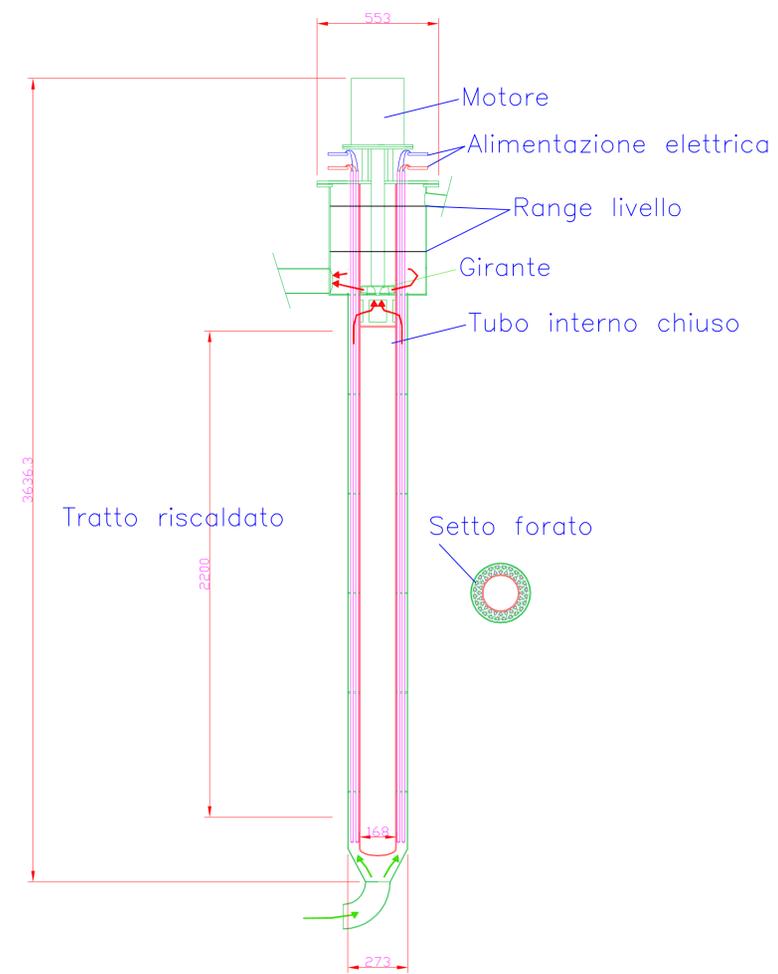
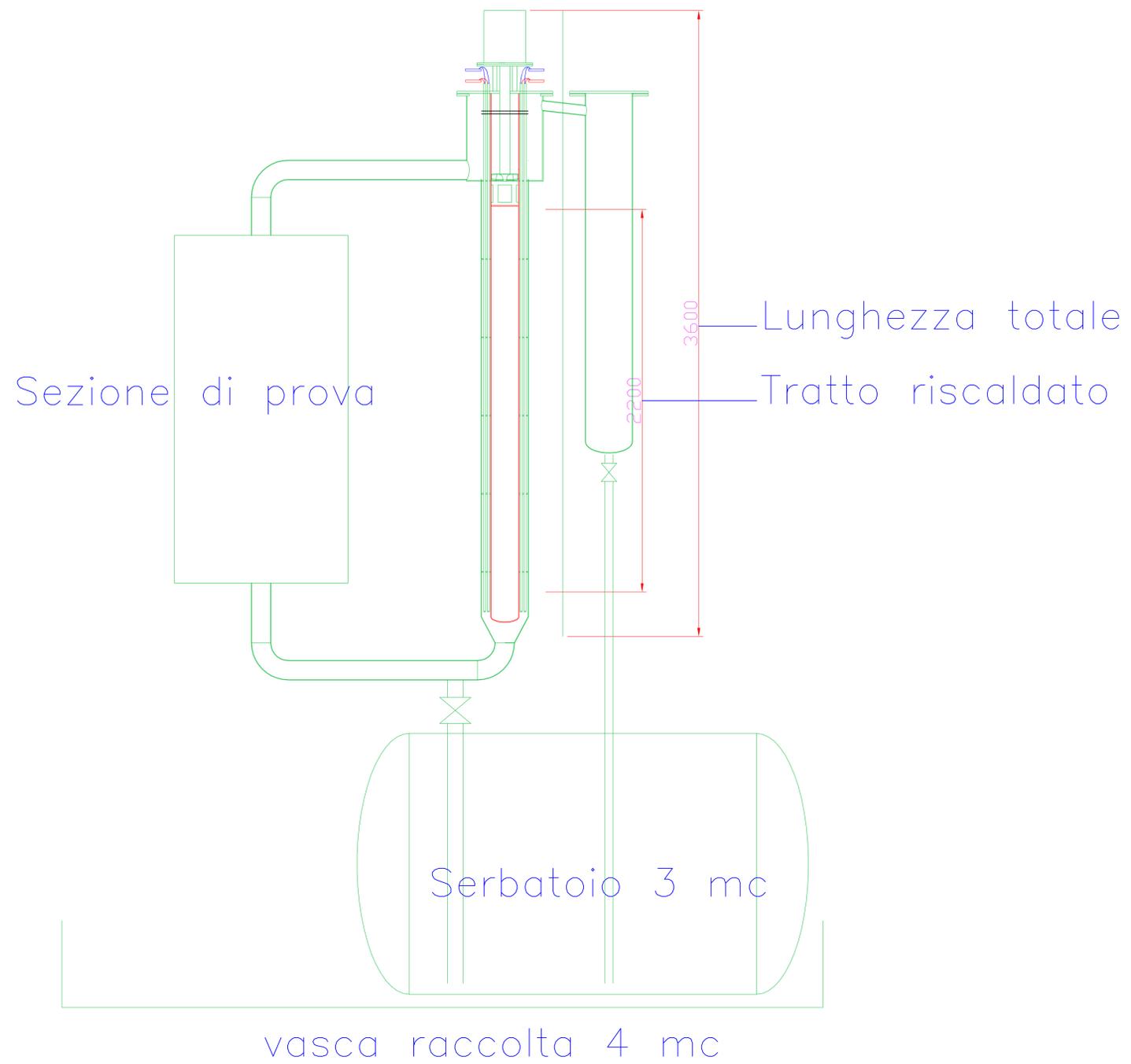


0	07/09/2011	Issue	A. Achilli		
Rev.	Date	Modified	Dftm.	Controll.	Approv.
---					
			Impianto sperimentale SP&DE Struttura di supporto		
Scale	Dwg code	File	General code		
1:50	081.00.00/1	081.00.00rev0.dwg			

File name:

### Allegato 3

Impianto sperimentale SP&DE: sistema di riscaldamento a fluido  
(disegno SIET 081-00-00/2 rev0)



0	07/09/2011	Issue	A. Achilli		
Rev.	Date	Modified	Dftm.	Controll.	Approv.
---					
			Impianto sperimentale SP&DE		
Piacenza - Italy			Sistema di riscaldamento a fluido		
Scale	Dwg_code	File	General code		
1:16	081.00.00/2	081.00.00rev0.dwg			