



Ricerca di Sistema elettrico

Design dell'esperimento e specifica tecnica di fornitura relativa all'up-grade dell'impianto LIFUS5/Mod2

A. Del Nevo, M. Eboli

DESIGN DELL'ESPERIMENTO E SPECIFICA TECNICA DI FORNITURA RELATIVA ALL'UP-GRADE DELL'IMPIANTO

LIFUS5-MOD2

A. Del Nevo, M. Eboli (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione

Linea: Collaborazione internazionale per il nucleare di IV Generazione

Obiettivo: Termoidraulica del refrigerante

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

Titolo

Design dell'esperimento e specifica tecnica di fornitura relativa all'up-grade dell'impianto LIFUS5/Mod2

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico
 Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione
 Argomenti trattati: Reattori Nucleari Veloci
 Sicurezza nucleare
 Analisi incidentale

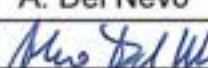
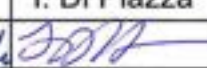
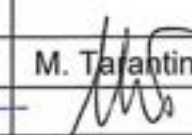
Sommario

Il documento riguarda la specifica di fornitura dell'impianto LIFUS5 per la campagna sperimentale da effettuare nell'ambito del progetto FP7 EC MAXSIMA. In tale ambito, l'impianto sperimentale sarà modificato e aggiornato al fine 1) di ripristinare la funzionalità dei componenti soggetti a usura durante le campagne EC THINS e EC LEADER, 2) di modificare il layout del sistema di iniezione al fine di consentire l'utilizzazione dell'impianto anche per lo studio delle piccole perdite dai tubi del generatore di vapore, 3) di consentire l'utilizzazione di più fluidi di prova. Inoltre, il sistema di acquisizione e strumentazione sarà aggiornato con l'installazione di nuova strumentazione. Il risultato sarà la realizzazione di un'apparecchiatura sperimentale "multi-purpose" che sarà denominata LIFUS5/Mod3.

Note.
Autori:

A. Del Nevo, M. Eboli - ENEA

Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	25/09/15	NOME	A. Del Nevo	I. Di Piazza	M. Tarantino
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 2	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 3	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

INDICE

LISTA DELLE FIGURE	5
LISTA DELLE TABELLE	6
1 INTRODUZIONE.....	8
2 OGGETTO DELLA FORNITURA	9
3 SCOPO.....	12
4 BREVE INTRODUZIONE A LIFUS5/Mod2	13
5 DESCRIZIONE DELLA FORNITURA.....	17
5.1 Descrizione tanca di stoccaggio S4_A.....	17
5.2 Descrizione tanca di stoccaggio S4_B1	20
5.3 Descrizione tanca di stoccaggio S4_B2	23
5.4 Descrizione del vessel di interazione/reazione S1_B	26
5.5 Descrizione dei vessel S1_A, S2 e della linea di iniezione	33
6 REQUISITI DELLA FORNITURA	43
6.1 Fabbricazione	43
6.2 Materiali	43
6.3 Strumentazione.....	43
6.4 Saldature.....	43
6.5 Prova in pressione	44
6.6 Pulizia.....	44
7 ESTENSIONE DELLA FORNITURA.....	45
7.1 Controlli dimensionali e verifiche in officina	45
7.2 Imballo e trasporto	45
7.3 Installazione ed assistenza in sito	45

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 4	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

7.4	Accettazione e garanzia	45
8	DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI	46
	APPENDIX A - ANALYSIS IN SUPPORT OF EXPERIMENT DESIGN	47

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 102	0	L	5	54

LISTA DELLE FIGURE

<i>Fig. 4.1 – LIFUS5/Mod2, configurazione THINS: insieme del sistema, serbatoio di scarico disconnesso.</i>	14
<i>Fig. 4.2 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 1 di 3): sistemi di controllo e acquisizione.</i>	15
<i>Fig. 4.3 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 2 di 3): sistemi di controllo e acquisizione.</i>	15
<i>Fig. 4.4 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 3 di 3): sistemi di controllo e regolazione.</i>	16
<i>Fig. 4.5 – LIFUS5/Mod2. Configurazione THINS: sinottico di impianto (Test A1.2 – fase di caricamento LBE).</i>	16
<i>Fig. 5.1 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_A.</i>	19
<i>Fig. 5.2 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_B1.</i>	22
<i>Fig. 5.3 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_B2.</i>	25
<i>Fig. 5.4 – P&I preliminare sistema S1_B dell’impianto LIFUS5/Mod3.</i>	29
<i>Fig. 5.5 – Adattatore trasduttore KISTLER</i>	30
<i>Fig. 5.6 – Fast pressure transducers (ThermoComp® quartz pressure sensor, 250 bar)</i>	30
<i>Fig. 5.7 – Tenuta TC con tubo collo d’oca (1 di 3).</i>	31
<i>Fig. 5.8 – Tenuta TC con tubo collo d’oca (2 di 3).</i>	32
<i>Fig. 5.9 – Tenuta TC con tubo collo d’oca (3 di 3).</i>	32
<i>Fig. 5.10 – P&I preliminare sistema S1_A ed S2 dell’impianto LIFUS5/Mod3.</i>	38
<i>Fig. 5.11 – Disegni “originali” del serbatoio di prova S1 (parte 1 di 2).</i>	39
<i>Fig. 5.12 – Disegni “originali” del serbatoio di prova S1 (parte 2 di 2).</i>	40
<i>Fig. 5.13 – Disegni “originali” della flangia superiore del serbatoio di prova S1.</i>	40
<i>Fig. 5.14 – Assieme serbatoio S1 e particolari del sistema caricamento e iniezione dell’attuale configurazione LIFUS5/Mod2.</i>	41
<i>Fig. 5.15 – Principio di funzionamento del sistema iniezione e refrigerazione.</i>	41
<i>Fig. 5.16 – Struttura di supporto impianto LIFUS5.</i>	42

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 6	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

LISTA DELLE TABELLE

<i>Tab. 2.1 – Lista valvole e regolatori di pressione da installare nell'impianto</i>	<i>11</i>
<i>Tab. 5.1 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_A.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 5.2 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_A (inclusi nella fornitura)</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 5.3 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_A (installazione inclusa nella fornitura).....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5.4 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_A (installazione NON inclusa nella fornitura).....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5.5 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_A (inclusi nella fornitura).....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5.6 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_B1.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 5.7 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_B1.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 5.8 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B1 (installazione inclusa nella fornitura).....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 5.9 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B1 (installazione NON inclusa nella fornitura).....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 5.10 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_B1 (inclusi nella fornitura).....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 5.11 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_B2.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 5.12 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_B2.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 5.13 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B2 (installazione inclusa nella fornitura).....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 5.14 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B2 (installazione NON inclusa nella fornitura).....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 5.15 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_B2 (inclusi nella fornitura).....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 5.16 – Dati geometrici del vessel di interazione/reazione S1_B.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 5.17 – Principali dati tubazioni sistema vessel di interazione/reazione S1_B.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 5.18 – Lista strumentazione sistema vessel di interazione/reazione S1_B (installazione inclusa nella fornitura)</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 5.19 – Lista strumentazione sistema vessel di interazione/reazione S1_B (installazione NON inclusa nella fornitura).....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 5.20 – Lista valvole e regolatori di pressione del vessel di interazione/reazione S1_B (inclusi nella fornitura).....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5.21 – Fast pressure transducers KISTLER Type 7061B.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5.22 – Principali dati tubazioni sistema S1_A e S2</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5.23 – Lista strumentazione nel sistema S1_A e S2 (installazione inclusa nella fornitura)</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5.24 – Lista strumentazione nel sistema S1_A e S2 (installazione NON inclusa nella fornitura).....</i>	<i>37</i>

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 7	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

Tab. 5.25 – Lista valvole e regolatori di pressione sistema S1_A e S2 (inclusi nella fornitura)37

Tab. 5.26 – Lista valvole e regolatori di pressione sistema S1_A e S2 (NON inclusi nella fornitura).....38

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 8	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

1 Introduzione

L'obiettivo dell'attività del progetto PAR-2014 è quello di implementare una infrastruttura sperimentale capace di studiare le piccole perdite di un tubo del generatore di vapore, al fine di assicurarne una tempestiva identificazione e prevenire la rottura catastrofica del tubo in pressione.

A questo scopo dovrà essere aggiornato l'impianto LIFUS5, al fine di

- ripristinare la funzionalità dei componenti soggetti a usura durante le campagne EC THINS e EC LEADER;
- modificare il layout del sistema di iniezione al fine di consentire l'utilizzazione dell'impianto anche per lo studio delle piccole perdite dai tubi del generatore di vapore;
- consentire l'utilizzazione di più fluidi di prova;
- migliorare la sicurezza e l'efficienza dell'impianto attraverso l'aggiornamento delle procedure di preparazione dei test, attraverso un controllo remoto completo dell'apparecchiatura durante tutte le fasi di preparazione ed esercizio.

Informazioni relative al design dell'esperimento basati sono riportati in Appendix A.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 9	di 54
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

2 Oggetto della Fornitura

Oggetto della fornitura si divide in 3 fasi:

Phase 1. Progettazione e fornitura componenti.

- 1.1 Serbatoio S4_A. Serbatoio stoccaggio fluido, per piccole perdite, incluso sistema di supporto (vedi sezione 5.1).
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.
- 1.2 Serbatoio S4_B1. Serbatoio stoccaggio fluido, per grandi perdite, incluso sistema di supporto (vedi sezione 5.2).
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.
- 1.3 Serbatoio S4_B2. Serbatoio “pivot”, incluso sistema di supporto (vedi sezione 5.3).
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.
- 1.4 Serbatoio S1_B. Vessel di interazione, incluso sistema di supporto (vedi sezione 5.4).
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.
- 1.5 Serbatoio S1_A. Fornitura della flangia superiore del vessel S1_A (vedi sezione 5.5).
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.
- 1.6 Serbatoio S2 e linea di iniezione. Modifica posizionamento serbatoio acqua S2 (carpenteria), fornitura componenti linea iniezione acqua (vedi sezione 5.5) e assemblaggio.
 - progettazione di dettaglio, realizzazione, fornitura e montaggio.

La fornitura dovrà essere progettata e costruita in accordo con PED per le seguenti condizioni operative:

- S4_A.
 - fluido di processo: metallo liquido pesante
 - pressione max: 10bar
 - temperatura max: 500°C
- S4_B1.
 - fluido di processo: : metallo liquido pesante
 - pressione max: 10bar
 - temperatura max: 500°C
- S4_B2.
 - fluido di processo: : metallo liquido pesante
 - pressione max: 1bar
 - temperatura max: 500°C
- S1_B.
 - fluido di processo: : metallo liquido pesante

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 10	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- pressione max: 200bar
- temperatura max: 500°C

Phase 2. Fornitura valvole, tubazioni e raccordi.

Fornitura di tutta la componentistica necessaria per l'assemblaggio dell'impianto LIFUS5/Mod3 (come da tabelle in sezione 5): valvole e riduttori di pressione (riportati in Tab. 2.1); raccorderia; tubazioni.

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
RP-S4A-01	Pressure regulator [0-10 bar]				
RP-S4A-02	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4A-01	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-02	Electro-valve [Ar-H gas; 0-5 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-03	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-04	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4A-01	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4A-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			
RP-S4B-01	Pressure regulator [0-10 bar]				
RP-S4B-02	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4B-01	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-02	Electro-valve [Ar-H gas; 0-5 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-03	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-04	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4B-01	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4B-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			
RP-S4B-03	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4B-05	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-06	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4B-02	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VM-S4B-03	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4B-02	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			
VM-S1B-01	Manual Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1/2"			
VP-S1B-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1/2"			
--	Sleeve from 2" to 3"				
VE-S2V-01	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-04	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-05	Electro-valve [Ar gas/Water; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VP-S2L-07	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			
VP-S2L-08	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			
VP-S2L-09	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			
--	Sleeve from 1/2" to 1/4"				
--	Sleeve from 1/4" to Coriolis inlet				

Tab. 2.1 – Lista valvole e regolatori di pressione da installare nell'impianto

Phase 3. Assemblaggio e collaudo.

Montaggio della carpenteria e assemblaggio dell'impianto presso l'edificio RSA del Centro Ricerche ENEA del Brasimone, incluse prove idrauliche necessarie, secondo quanto richiesto dalla normativa.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 12	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

3 Scopo

La Specifica Tecnica ha lo scopo di descrivere l'oggetto della fornitura, di stabilire i criteri generali per la fabbricazione, la documentazione conforme alla direttiva 97/23/CE (PED), i controlli, le prove non distruttive, l'imballaggio e quanto necessario alla realizzazione, trasporto e installazione dei componenti sull'impianto LIFUS5/Mod3, presso l'edificio RSA del C.R. Brasimone.

In linea generale la fornitura comprende per le parti oggetto della fornitura:

- l'approvvigionamento dei materiali;
- la realizzazione dei disegni costruttivi;
- le verifiche della flangia superiore di S1_A (oggetto della fornitura) incluso il pezzo di tubazione fino alla flangia di attacco alla linea del serbatoio S3, secondo la normativa vigente;
- le verifiche termo-meccaniche dei serbatoi S4_A, S4_B1, S4_B2, S1_B (oggetto della fornitura) e relativi componenti descritti nella presente Specifica Tecnica, e la relativa certificazione, ove richiesto;
- la fabbricazione dei componenti di impianto e il relativo assemblaggio;
- i controlli e i test in corso d'opera e di fine realizzazione;
- il dossier di fine fabbricazione comprensivo di certificazioni;
- la pulizia e decapaggio oltreché la lucidatura della sede dove viene posizionata la guarnizione Helicoflex;
- l'imballo e la spedizione presso il sito ENEA del Brasimone;
- pulizia, assemblaggio ed installazione presso l'edificio sperimentale RSA;
- collaudi finali di accettazione in sito.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 13	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

4 Breve introduzione a LIFUS5/Mod2

Lo scopo della presente fornitura è quello di apportare modifiche sostanziali all'impianto LIFUS5/Mod2, al fine di renderlo un impianto completo capace di soddisfare tutte le necessità della ricerca relativamente all'interazione metallo liquido acqua. La realizzazione dell'impianto LIFUS5/Mod3 (facility multi-purpose) consentirà di potenziare le capacità operative dell'impianto consentendo lo studio delle piccole perdite, lo sviluppo di strumentazione, l'utilizzo di più fluidi, un ampio range di condizioni operative, etc...

In questa sezione si vuole fornire un'introduzione all'impianto LIFUS5 esercito in ENEA CR Brasimone tra il 1999 e il 2015. Si tiene a sottolineare che l'impianto LIFUS5/Mod3 basato su componentistica di LIFUS5 e sull'esperienza operativa delle precedenti versioni sarà di fatto un nuovo impianto.

L'impianto sperimentale LIFUS5 è stato progettato e realizzato per lo studio dei fenomeni connessi all'interazione metallo liquido acqua.

LIFUS5 è progettato per operare con diversi metalli liquidi pesanti (es. leghe piombo litio, leghe eutettiche piombo bismuto e piombo) ed in un ampio range di condizioni operative. Il suo esercizio ha un duplice scopo: 1) lo studio di fenomeni rilevanti per la sicurezza degli impianti nucleari, in specifiche situazioni incidentali, e 2) lo sviluppo e la validazione di modelli numerici utilizzati nei codici per la simulazione e le analisi di sicurezza.

L'impianto, costruito nel 1999, è costituito dal recipiente principale dove avviene l'interazione (o la reazione) tra il metallo liquido e l'acqua, il serbatoio dell'acqua in pressione, una tanca di scarico dove i fluidi di processo possono essere trasportati durante l'esperimento ed, infine, un serbatoio di stoccaggio del metallo liquido.

Le principali caratteristiche dell'impianto sono:

- volume dove avviene l'interazione: 100 l
- pressione massima dell'acqua: 20 MPa
- temperatura massima del metallo liquido: 500 °C
- potenza installata 90 kW

L'attuale configurazione (LIFUS5/Mod2) è stata progettata e realizzata presso il centro ENEA del Brasimone. Mantenendo i 4 serbatoi principali, l'impianto è stato ricostruito: nuova configurazione di impianto, sezione di prova, strumentazione, sistema di acquisizione, controllo e potenza, struttura di supporto, sala controllo, gestione e procedure per l'esecuzione delle prove. Ha oltre 150 strumenti di misura installati (trasduttori di pressione veloce, termocoppie, misuratore di portata di tipo Coriolis, estensimetri in metallo liquido ad alta temperatura, e misuratori di livello) per fornire dati sperimentali affidabili (ripetibilità) e dettagliati, ossia idonei alla qualifica di codici di calcolo avanzati bidimensionali e tridimensionali.

LIFUS5/Mod2 è un impianto estremamente versatile e concettualmente semplice. Inizialmente è stato impiegato per analisi di interazione tra acqua e una lega Pb-17Li

nell'ambito di progetti correlati allo sviluppo del reattore a fusione (ITER). Più recentemente, l'attività sperimentale si è focalizzata su attività di ricerca e sviluppo per i reattori a fissione sottocritici (XT-ADS ed EFIT) e veloce refrigerato a piombo (ELSY), attraverso progetti finanziati dalla comunità europea (FP6 IP-EUROTRANS ed FP6 ELSY) e dal Ministero dello Sviluppo Economico (AdP 2009-2010). Attualmente queste attività di ricerca sono state completate con l'esecuzione dei progetti del settimo programma quadro (FP7 THINS ed FP7 LEADER) e l'esecuzione di 17 esperimenti, in due configurazioni diverse, in circa 3 anni.

Dettagli sul layout dell'impianto LIFUS5/Mod2, in configurazione THINS, la strumentazione e il sinottico sono riportate da Fig. 4.1 a Fig. 4.5.

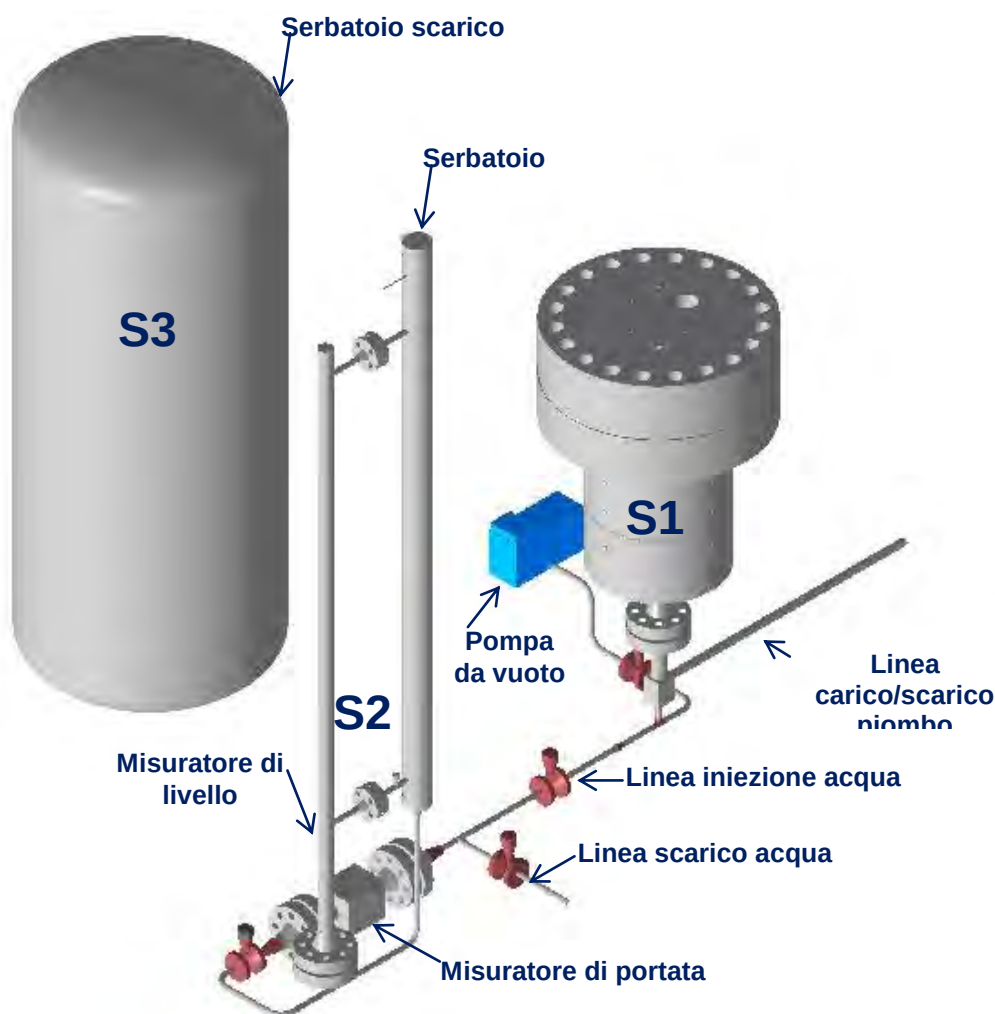


Fig. 4.1 – LIFUS5/Mod2, configurazione THINS: insieme del sistema, serbatoio di scarico disconnesso.

LIFUS5/Mod2

THINS configuration 2012

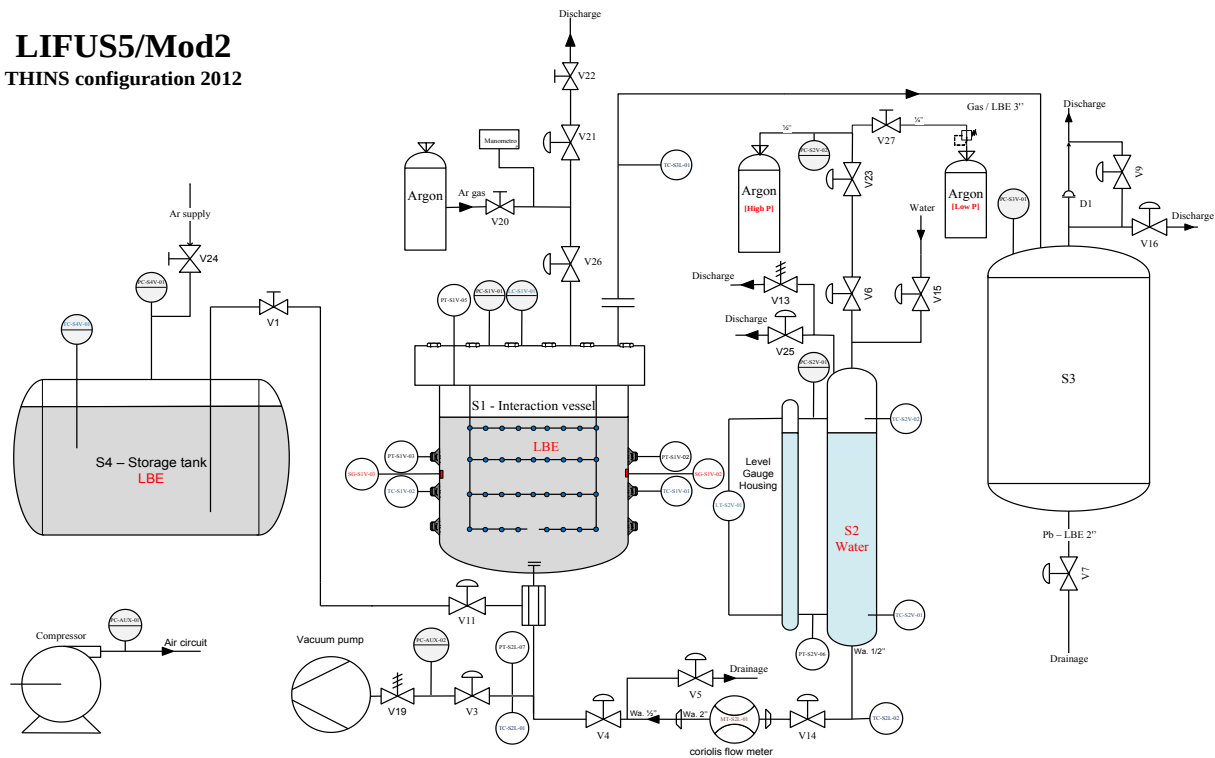


Fig. 4.2 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 1 di 3): sistemi di controllo e acquisizione.

LIFUS5/Mod2

THINS configuration 2012

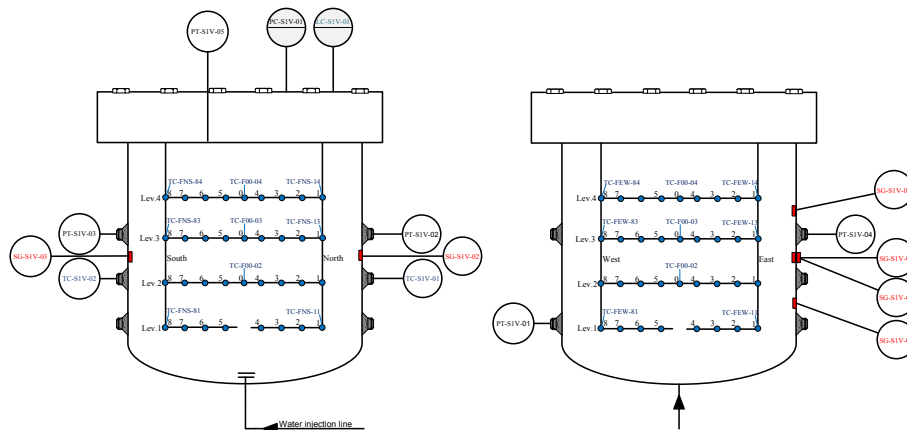


Fig. 4.3 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 2 di 3): sistemi di controllo e acquisizione.

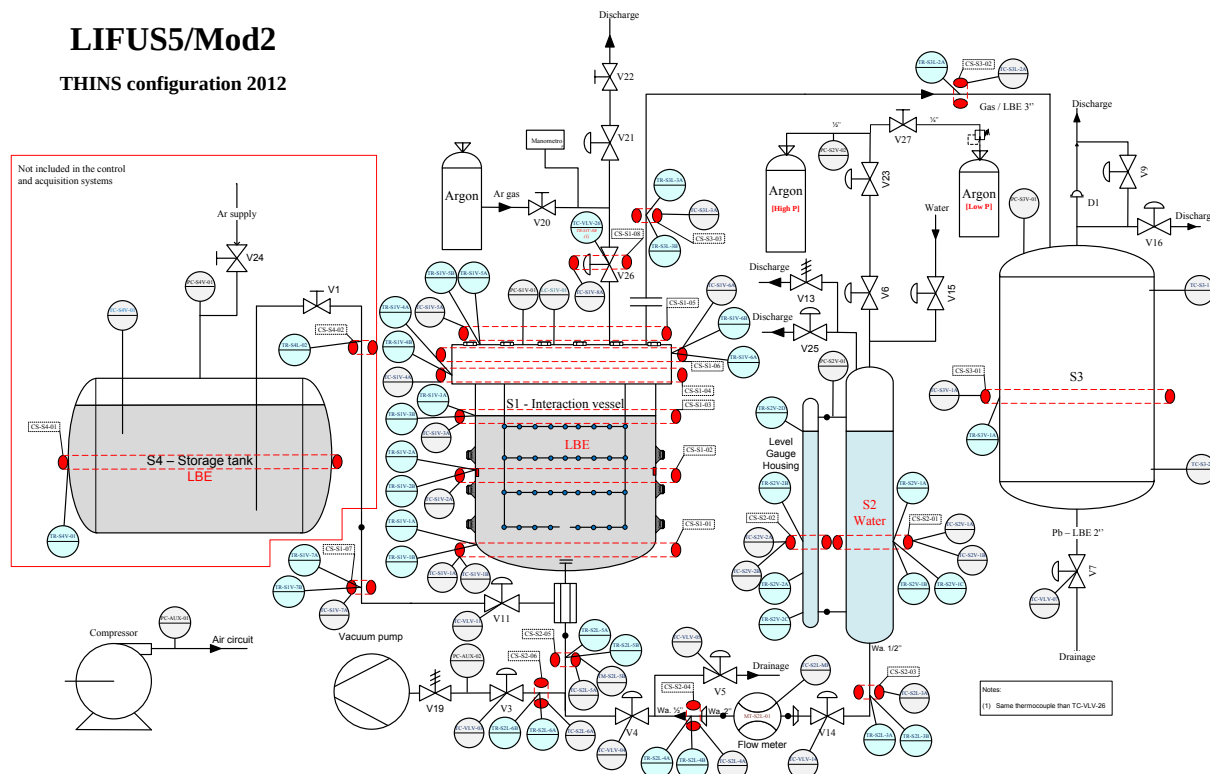


Fig. 4.4 – LIFUS5/Mod2. P&I configurazione THINS (parte 3 di 3): sistemi di controllo e regolazione.

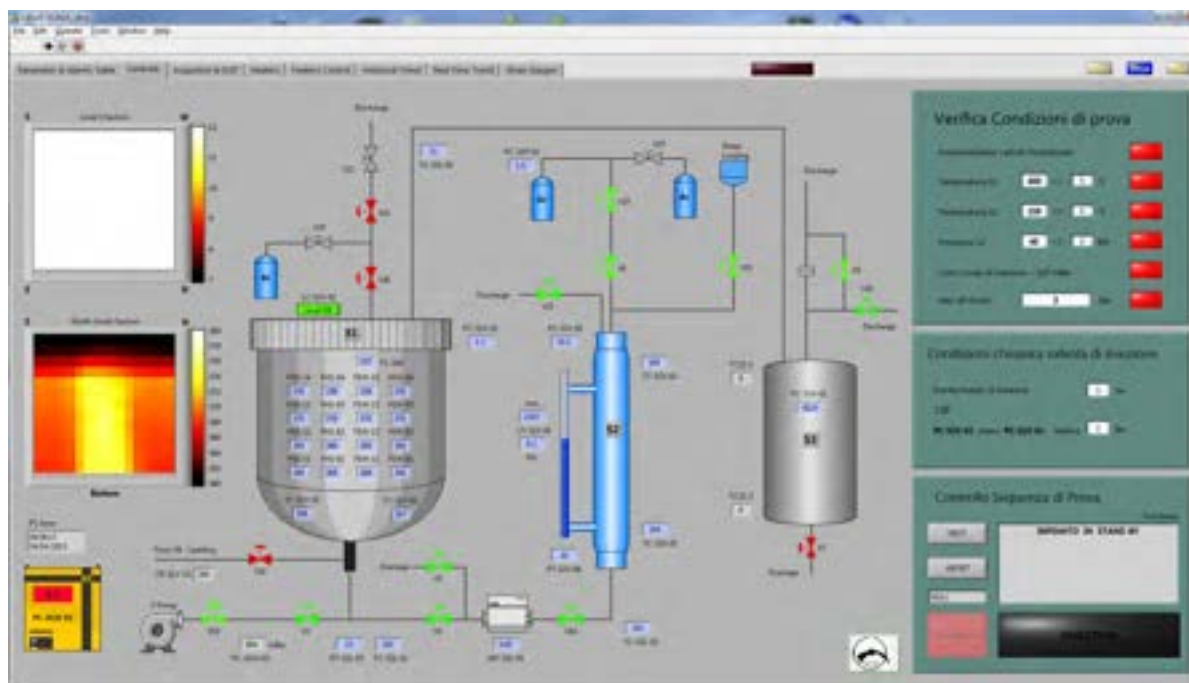


Fig. 4.5 – LIFUS5/Mod2. Configurazione THINS: sinottico di impianto (Test A1.2 – fase di caricamento LBE).

5 Descrizione della fornitura

5.1 Descrizione tanca di stoccaggio S4_A

La fornitura riguarda:

- la tanca di stoccaggio S4_A;
- le tubature di connessione;
- l'installazione della strumentazione (fornita da ENEA);
- le valvole e i regolatori di pressione;
- la carpenteria per posizionarlo in posizione di lavoro (i.e. appoggiato in sicurezza a livello del pavimento dell'edificio sperimentale).

I dati principali della tanca di stoccaggio S4_A sono riportati in Tab. 5.1. Fig. 5.1 mostra il P&I (rev. 0) del sistema “fill and drain” del vessel S1_A (interazione/reazione) basato sulla tanca di stoccaggio S4_A. Si riportano inoltre:

- I principali dati delle tubazioni in Tab. 5.2 (da confermare in fase di progetto di dettaglio);
- La lista della strumentazione da installare in Tab. 5.3;
- La lista delle valvole e regolatori di pressione in Tab. 5.5.

COMPONENT	CHARACTERISTIC	VALUE/TYPE	NOTE
S4_A Storage tank	Volume [m ³]	0.35	
	Proposed inner diameter [m]	< 0.6	(24" sch.10)
	Design pressure [bar]	10	
	Design temperature [°C]	450	
	Material	AISI 316	

Tab. 5.1 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_A

Pipeline List						
Displayed Text	Description	Line Size	Schedule	Design Pressure	Design Temperature	Quantity
S4A-L01	S4A fill and drain pipe	1"	sch80	10 bar	450°C	1
S4A-L02	S4A fill and drain pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S4A-L03	S4A gas purification line	1/4"		10 bar	450 °C	1
S4A-L04	S4A gas inlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1
S4A-L05	S4A gas outlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1

Tab. 5.2 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_A
(*inclusi nella fornitura*)

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
DP-S4A-01	Differential pressure [Liquid metal; 0-1500 mbar; 0-500°C]	
LV-S4A-01	ON/OFF level transducer [Low Lvl; 0÷500°C]	
LV-S4A-02	ON/OFF level transducer [High Lvl; 0÷500°C]	
PC-S4A-01	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	
TC-S4A-01	Thermocouple [N type, 3mm]	
TC-S4A-02	Thermocouple [N type, 1mm]	

*Tab. 5.3 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_A
(installazione inclusa nella fornitura)*

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
TR-S4A-1A	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation A
TR-S4A-1B	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation B
TR-S4A-2A	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation A
TR-S4A-2B	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation B
TR-S4A-3A	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation A
TR-S4A-3B	Thermocouple [N type, 3mm,]	Regulation B
TS-S4A-01	Thermocouple [N type, 3mm,]	Safety
TS-S4A-02	Thermocouple [N type, 3mm,]	Safety
TS-S4A-03	Thermocouple [N type, 3mm,]	Safety

*Tab. 5.4 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_A
(installazione NON inclusa nella fornitura)*

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
RP-S4A-01	Pressure regulator [0-10 bar]				
RP-S4A-02	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4A-01	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-02	Electro-valve [Ar-H gas; 0-5 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-03	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4A-04	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4A-01	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4A-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			

*Tab. 5.5 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_A
(inclusi nella fornitura)*

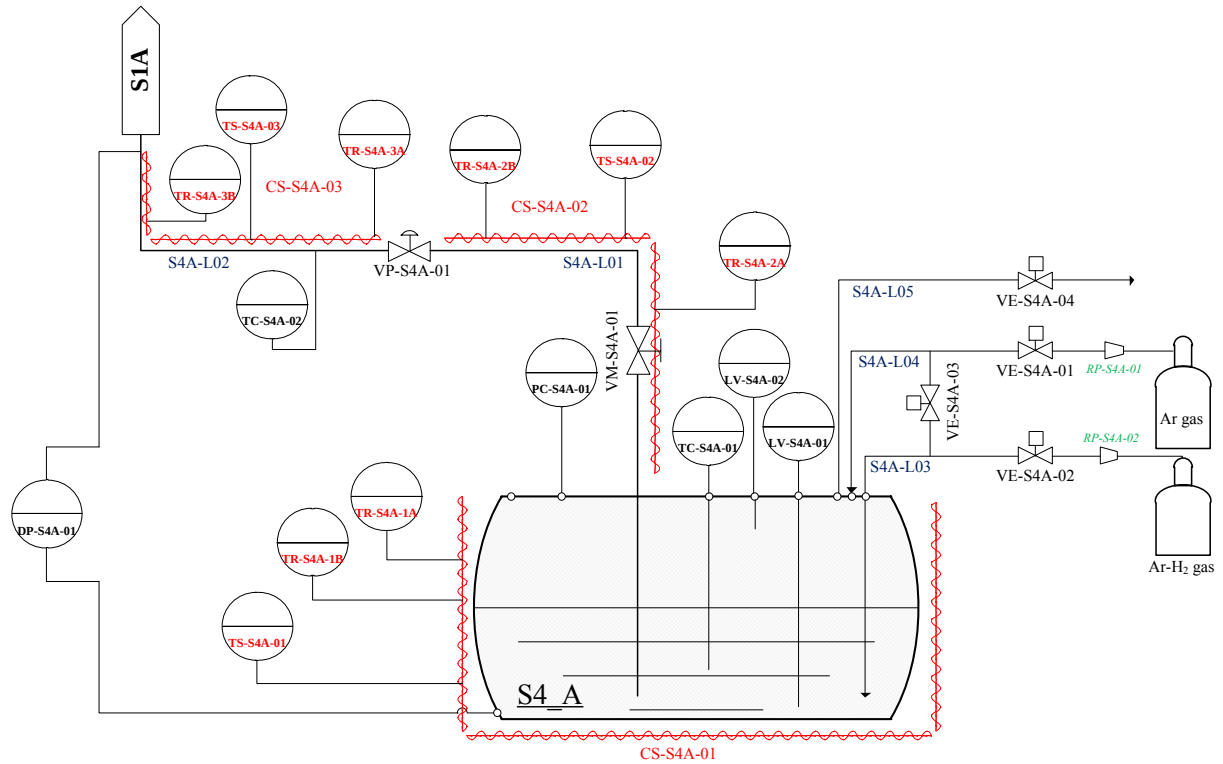


Fig. 5.1 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_A.

5.2 Descrizione tanca di stoccaggio S4_B1

La fornitura riguarda:

- la tanca di stoccaggio S4_B1;
- le tubature di connessione;
- l'installazione della strumentazione;
- le valvole e i regolatori di pressione;
- la carpenteria per posizionarlo in posizione di lavoro (i.e. appoggiato in sicurezza a livello del pavimento dell'edificio sperimentale).

I dati principali della tanca di stoccaggio S4_B1 sono riportati in Tab. 5.6. Fig. 5.2 mostra il P&I (rev. 0) del sistema “fill” del vessel S1 (interazione/reazione) basato sulla tanca di stoccaggio S4_B1.

Si riportano inoltre:

- i principali dati delle tubazioni in Tab. 5.7;
- la lista della strumentazione da installare in Tab. 5.8;
- la lista delle valvole e regolatori di pressione inclusi nella fornitura in Tab. 5.10.

COMPONENT	CHARACTERISTIC	VALUE/TYPE	NOTE
S4_B1 Storage tank	<i>Volume [m³]</i>	0.40	
	<i>Proposed inner diameter [m]</i>	< 0.6	
	<i>Design pressure [bar]</i>	10	
	<i>Design temperature [°C]</i>	450	
	<i>Material</i>	AISI 316	

Tab. 5.6 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_B1

Pipeline List						
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Line Size</i>	<i>Schedule</i>	<i>Design Pressure</i>	<i>Design Temperature</i>	<i>Quantity</i>
S4B-L01	S4_B1 fill and drain pipe	1"	sch80	10 bar	450°C	1
S4B-L02	S4_B1 fill and drain pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S4B-L03	S4_B1 gas purification line	1/4"		10 bar	450 °C	1
S4B-L04	S4_B1 gas inlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1
S4B-L05	S4_B1 gas outlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1

Tab. 5.7 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_B1

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
DP-S4B-01	Differential pressure [Liquid metal; 0-1500 mbar; 0-500°C]	
LV-S4B-01	ON/OFF level transducer [Low Lvl; 0÷500°C]	
LV-S4B-02	ON/OFF level transducer [High Lvl; 0÷500°C]	
PC-S4B-01	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	
TC-S4B-01	Thermocouple [N type, 3mm]	
TC-S4B-02	Thermocouple [N type, 1mm]	

Tab. 5.8 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B1
(*installazione inclusa nella fornitura*)

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
TR-S4B-1A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-1B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S4B-2A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-2B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S4B-3A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-3B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TS-S4B-01	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S4B-02	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S4B-03	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety

Tab. 5.9 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B1
(*installazione NON inclusa nella fornitura*)

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
RP-S4B-01	Pressure regulator [0-10 bar]				
RP-S4B-02	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4B-01	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-02	Electro-valve [Ar-H gas; 0-5 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-03	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-04	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4B-01	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4B-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			

Tab. 5.10 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_B1
(*inclusi nella fornitura*)

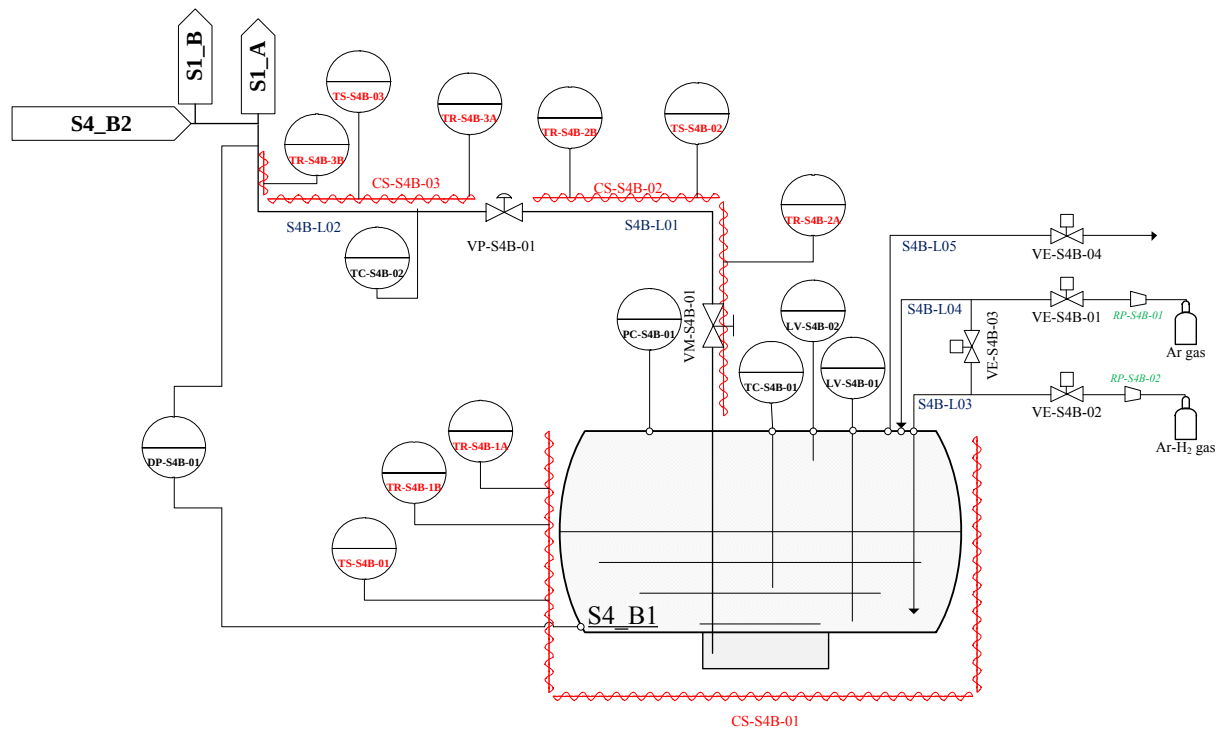


Fig. 5.2 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_B1

5.3 Descrizione tanca di stoccaggio S4_B2

La fornitura riguarda:

- la tanca di stoccaggio S4_B2;
- le tubature di connessione;
- l'installazione della strumentazione;
- le valvole e il regolatore di pressione;
- la carpenteria per posizionarlo in posizione di lavoro (struttura metallica capace di sostenere il serbatoio caricato con fluido di lavoro 10000 kg/m³ a terra ed a 2 m di altezza per consentire il drenaggio per gravità verso S4_B1).

I dati principali della tanca di stoccaggio S4_B2 sono riportati in Tab. 5.11. Fig. 5.3 mostra il P&I (rev. 0) del sistema “drain” del vessel S1 (interazione/reazione) basato sulla tanca di stoccaggio S4_B2 e del sistema “fill” della tanca di stoccaggio S4_B1.

Si riportano inoltre:

- i principali dati delle tubazioni in Tab. 5.12 ;
- la lista della strumentazione da installare in Tab. 5.13;
- la lista delle valvole e regolatori di pressione inclusi nella fornitura in Tab. 5.15.

COMPONENT	CHARACTERISTIC	VALUE/TYPE	NOTE
S4_B2 Storage tank	<i>Volume [m³]</i>	0.40	
	<i>Proposed inner diameter [m]</i>	< 0.6	
	<i>Design pressure [bar]</i>	1	
	<i>Design temperature [°C]</i>	450	
	<i>Material</i>	AISI 316	

Tab. 5.11 – Dati geometrici tanca di stoccaggio S4_B2

Pipeline List						
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Line Size</i>	<i>Schedule</i>	<i>Design Pressure</i>	<i>Design Temperature</i>	<i>Quantity</i>
S4B-L06	S4_B2 fill pipe	1"	sch80	10 bar	450°C	1
S4B-L07	S4_B2 fill pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S4B-L08	S4_B2 drain pipe	1"	sch80	10 bar	450°C	1
S4B-L09	S4_B2 gas inlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1
S4B-L10	S4_B2 gas outlet line	1/4"		10 bar	450 °C	1

Tab. 5.12 – Principali dati tubazioni sistema tanca di stoccaggio S4_B2

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
LV-S4B-03	ON/OFF level transducer [Low Lvl; 0÷500°C]	
LV-S4B-04	ON/OFF level transducer [High Lvl; 0÷500°C]	
PC-S4B-02	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	
TC-S4B-03	Thermocouple [N type, 3mm]	
TC-S4B-04	Thermocouple [N type, 1mm]	
TC-S4B-05	Thermocouple [N type, 1mm]	

*Tab. 5.13 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B2
(installazione inclusa nella fornitura)*

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
TR-S4B-4A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-5A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-5B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S4B-6A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S4B-7A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TS-S4B-04	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S4B-05	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S4B-06	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S4B-07	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety

*Tab. 5.14 – Lista strumentazione tanca di stoccaggio S4_B2
(installazione NON inclusa nella fornitura)*

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
RP-S4B-03	Pressure regulator [0-10 bar]				
VE-S4B-05	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VE-S4B-06	Electro-valve [Ar gas; 0-10 bar; 0-50°C]	1/4"			
VM-S4B-02	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VM-S4B-03	Manual Valve [0-10 bar; 0-450°C]	1"			
VP-S4B-02	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1"			

*Tab. 5.15 – Lista valvole e regolatori di pressione tanca di stoccaggio S4_B2
(inclusi nella fornitura)*

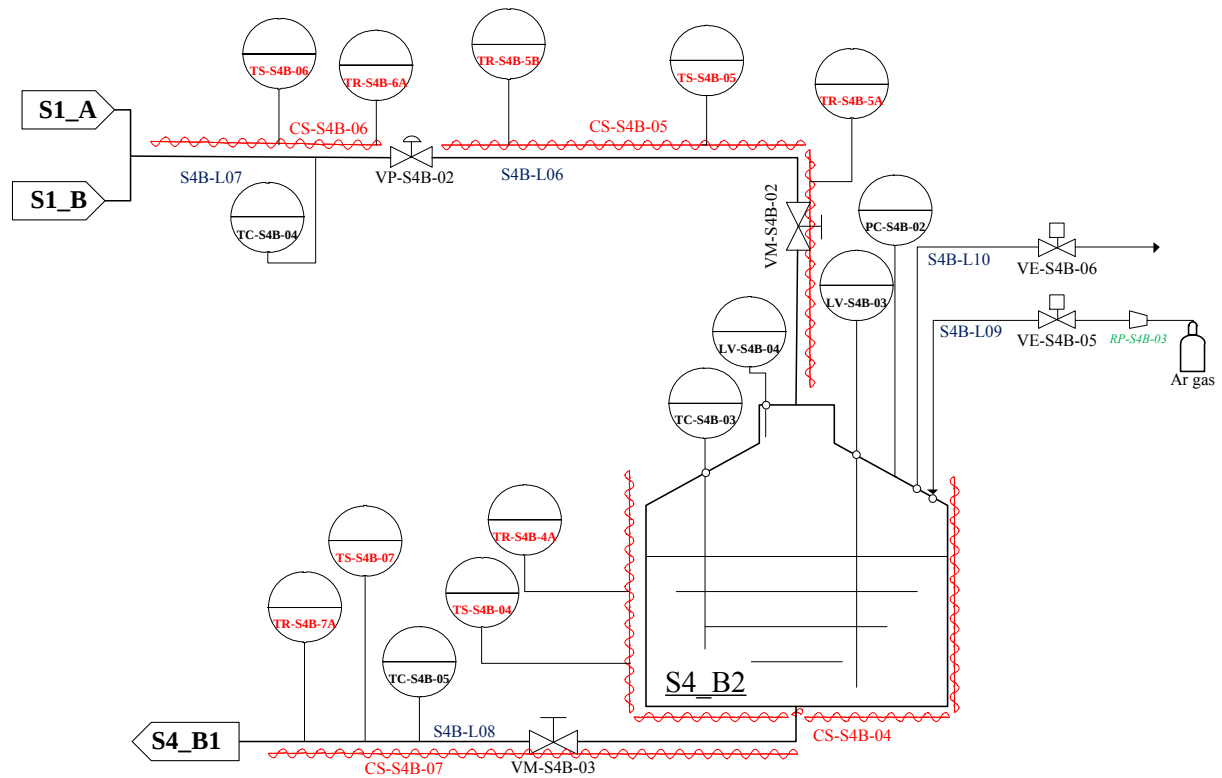


Fig. 5.3 – P&I sistema “fill and drain” e tanca stoccaggio S4_B2.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 26	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

5.4 Descrizione del vessel di interazione/reazione S1_B

La fornitura riguarda:

- il vessel di interazione/reazione S1_B;
 - diametro congruente con le specifiche di progetto (stima preliminare 12” sch. 160);
 - spessore da definire sulla base del progetto di dettaglio;
 - 3 penetrazioni nel corpo cilindrico posizionate a 120° per il posizionamento dei trasduttori di pressione veloce KISTLER (vedere Fig. 5.5, Fig. 5.6 e dati in Tab. 5.21);
- la flangia superiore (vedere *Dett. 5* in Fig. 5.4). La guarnizione della flangia sarà di tipo spirometallica o equivalente (da concordare in fase di progetto). Le penetrazioni, (circa 5 da definire in fase di progetto di dettaglio), saranno:
 - 1 foro $\Phi=2''$ (misura preliminare) → che dovrà consentire la connessione alla pipeline del serbatoio di sicurezza S3, con sede per alloggiamento del disco di rottura;
 - 1 foro $\Phi=1/2''$ (misura preliminare) → per la connessione al sistema di misurazione idrogeno, connesso anch'esso alla linea di sicurezza S3;
 - 1 foro $\Phi=1''$ (misura preliminare) → per il passaggio delle termocoppie e degli strain gauge attraverso il Gooseneck sealing system;
 - 1 foro $\Phi=1/2''$ (misura preliminare) → per il trasduttore di pressione assoluta GE UNIX5000;
 - 1 foro $\Phi=3/4''$ (misura preliminare) → per il trasduttore di pressione veloce KISTLER (Fig. 5.5).
- il Gooseneck sealing system, vedere *Dett. 6* in Fig. 5.4, da definire in sede di progetto di dettaglio. Il sistema si baserà su quello attualmente installato in LIFUS5/Mod2 e riportato in Fig. 5.7, Fig. 5.8 e Fig. 5.9;
- la predisposizione per la strumentazione;
- le valvole;
- un set di 5 dischi di rottura per la linea di collegamento ad S3, incluso portadischi e flange;
- le tubature di connessione;
- la carpenteria per posizionarlo in posizione di lavoro (struttura metallica capace di sostenere il serbatoio caricato con fluido di lavoro 10000 kg/m³ ad un'altezza di circa 1.5 m di altezza);
- Progetto di dettaglio e fabbricazione del *Dett. 8* in Fig. 5.4 relativo ai sistemi linea di iniezione e caricamento. Il sistema si baserà su un concetto simile a quello del sistema di caricamento piombo e iniezione dell'attuale configurazione LIFU5/Mod2 (vedi Fig. 5.14). In particolare, i tubi (compresi nella fornitura) saranno:

- Tubo iniezione acqua interno 1/8" sch. 80 (Dext=3.175 mm) – (stima preliminare basata su sistema metrico o dimensioni equivalenti)
- Tubo esterno 2" sch. 80 (stima preliminare, come tubo integrato sul fondo di S1).

I dati principali del vessel di interazione/reazione S1_B sono riportati in Tab. 5.16. Fig. 5.4 riporta il P&I preliminare del sistema S1_B con la relativa strumentazione di controllo, regolazione e sicurezza. Il fluido di processo è metallo liquido pesante.

Si riportano inoltre:

- i principali dati delle tubazioni in Tab. 5.17;
- la lista della strumentazione da installare in Tab. 5.18;
- la lista delle valvole e regolatori di pressione inclusi nella fornitura, in Tab. 5.20.

COMPONENT	CHARACTERISTIC	VALUE/TYPE	NOTE
S1_B Reaction tank	Volume [m ³]	0.025	
	Proposed inner diameter [m]	< 0.4	12" sch. 160
	Design pressure [bar]	200	
	Design temperature [°C]	500	
	Material	AISI 316	

Tab. 5.16 – Dati geometrici del vessel di interazione/reazione S1_B

Pipeline List						
Displayed Text	Description	Line Size	Schedule	Design Pressure	Design Temperature	Quantity
Dett. 6 (Gooseneck Sealing System)	Gooseneck Sealing System	1" (TBC)	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-01	S1B fill and drain pipe	1"	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-02		2" (TBC)	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-03		2" (TBC)	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-04		1/2"	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-05		1/2"	sch80	200 bar	500 °C	1
S1B-06		3"	sch80	200 bar	500 °C	1
S4B-L02	S4_B1 drain pipe	1"	sch80	200 bar	500 °C	1
S4B-L07	S4_B2 fill pipe	1"	sch80	200 bar	500 °C	1

Tab. 5.17 – Principali dati tubazioni sistema vessel di interazione/reazione S1_B

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
DP-S1B-01	Differential pressure [Liquid metal; 0-1000 mbar; 0-500°C]	
DP-S1B-02	Differential pressure [Liquid metal; 0-500 mbar; 0-500°C]	
PC-S1B-01	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	Acquisition @1-10 kHz
PT-S1B-01	Dynamic Pressure Sensor [0-200 bar; 0-500°C; 4-20mA]	Acquisition @10 kHz
PT-S1B-02	Dynamic Pressure Sensor [0-200 bar; 0-500°C; 4-20mA]	Acquisition @ 10kHz
PT-S1B-03	Dynamic Pressure Sensor [0-200 bar; 0-500°C; 4-20mA]	Acquisition @ 10kHz
PT-S1B-04	Dynamic Pressure Sensor [0-200 bar; 0-500°C; 4-20mA]	Acquisition @10 kHz
SG-S1B-01	Strain gauge	Acquisition @10 kHz
SG-S1B-02	Strain gauge	Acquisition @10 kHz
SG-S1B-03	Strain gauge	Acquisition @10 kHz
TC-S1B-01	Thermocouple [N type, 1mm]	
TC-S1B-02	Thermocouple [N type, 1mm]	

*Tab. 5.18 – Lista strumentazione sistema vessel di interazione/reazione S1_B
(installazione inclusa nella fornitura)*

Instrument List		
Displayed Text	Description	Service
HC-S1B-01	Hydrogen sensor	
TR-S1B-1A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-1B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-2A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-2B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-3A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-3B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-4A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-5A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-6A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-7A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-8A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1B-8B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TS-S1B-1A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-2A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-3A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-4A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-5A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-6A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-7A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1B-8A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety

*Tab. 5.19 – Lista strumentazione sistema vessel di interazione/reazione S1_B
(installazione NON inclusa nella fornitura)*

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
VM-S1B-01	Manual Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1/2"			
VP-S1B-01	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1/2"			
--	Sleeve from 2" to 3"				

Tab. 5.20 – Lista valvole e regolatori di pressione del vessel di interazione/reazione S1_B
(*inclusi nella fornitura*)

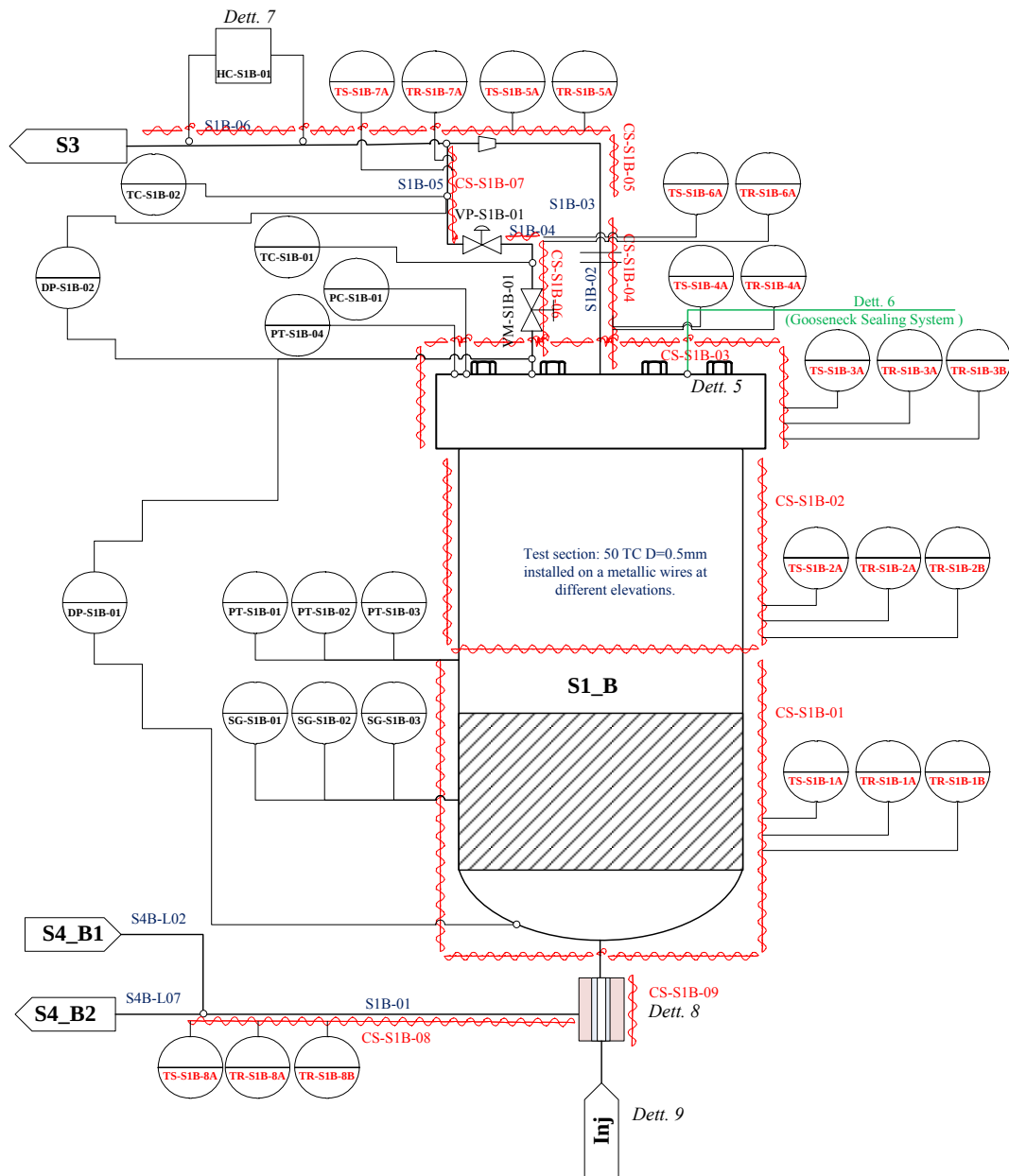


Fig. 5.4 – P&I preliminare sistema S1_B dell'impianto LIFUS5/Mod3.

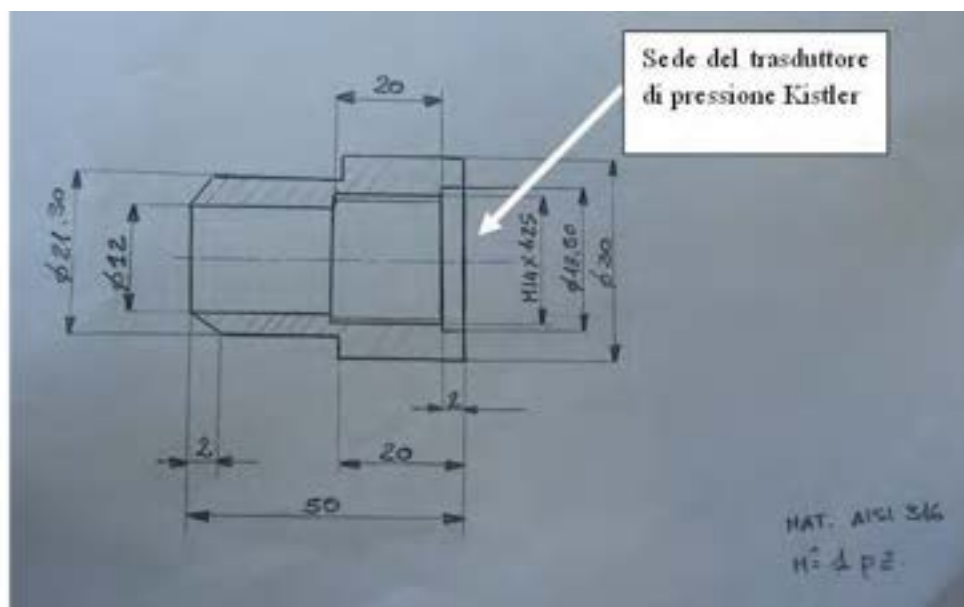


Fig. 5.5 – Adattatore trasduttore KISTLER



Fig. 5.6 – Fast pressure transducers (ThermoComp® quartz pressure sensor, 250 bar)

#	SPECIFICATIONS	UNIT	VALUE
1	<i>Measuring range</i>	bar	0 – 250
2	<i>Overload</i>	bar	300.0
3	<i>Sensitivity</i>	pC/bar	≈80
4	<i>Natural Frequency</i>	kHz	≈45
5	<i>Non linearity</i>	% FSO	<±0.5
6	<i>Operating temperature range</i>	°C	-50 – 350
7	<i>Sensitivity shift, cooled</i>	%	<±0.5, 50 °C +/- 35 °C
8	<i>Sensitivity shift, uncooled</i>	%	<±2, 200 °C +/- 150 °C
9	<i>Thermal shock dp (short time)</i>	bar	<±0.1
10	<i>Thermal shock dp mi</i>	%	<±0.5
11	<i>Thermal shock dp max</i>	%	<±0.5
12	<i>Thread</i>		M14x1,25
13	<i>Cooling</i>		water cooled
14	<i>Front diameter</i>	mm	12
15	<i>Length</i>	mm	13
16	<i>Connector</i>		KIAG 10-32 neg.
17	<i>PiezoSmart (TEDS)</i>		no

Tab. 5.21 – Fast pressure transducers KISTLER Type 7061B



Fig. 5.7 – Tenuta TC con tubo collo d'oca (1 di 3).



Fig. 5.8 – Tenuta TC con tubo collo d’oca (2 di 3).

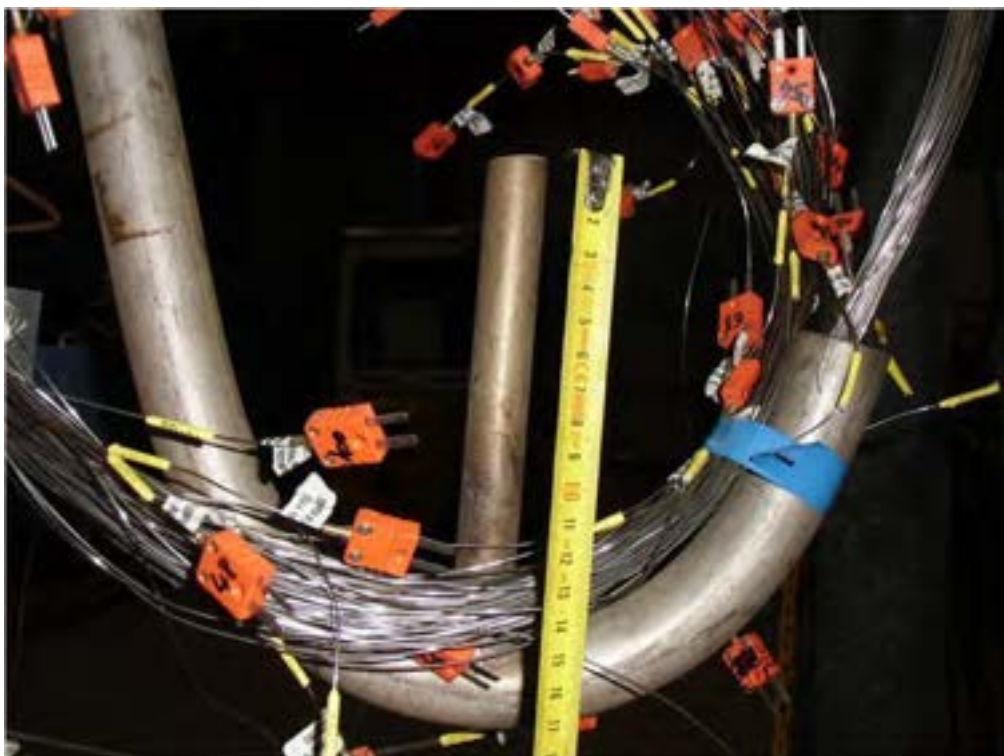


Fig. 5.9 – Tenuta TC con tubo collo d’oca (3 di 3).

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 33	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

5.5 Descrizione dei vessel S1_A, S2 e della linea di iniezione

Fig. 5.10 riporta il P&I preliminare del sistema S1_A ed S2 con la relativa strumentazione di controllo, regolazione e sicurezza. I fluidi di processo sono: acqua per il serbatoio S2 e lega eutettica piombo bismuto per il serbatoio di prova S1_A.

La fornitura riguarda:

- Progetto di dettaglio e fabbricazione della flangia superiore del serbatoio S1_A. Le principali misure del serbatoio S1_A e della flangia attualmente installata sono riportate da Fig. 5.11 a Fig. 5.13. La flangia superiore di chiusura del serbatoio S1_A dovrà avere le caratteristiche principali sotto riportate.
 - Diametro esterno = 880 mm
 - Spessore da definire sulla base del progetto di dettaglio [*attualmente è 235 mm*]. Lo spessore sarà definito come **il minimo necessario** considerato che il componente sarà soggetto alla sola sovrappressione del gas di copertura. In questa configurazione il vessel S1_A sarà infatti sempre “aperto” (i.e. connesso tramite la linea di 3” al serbatoio S3 (*damping system*) anch’esso aperto verso l’ambiente. Il sistema di iniezione avrà orifizi di dimensioni molto piccole (50 - 1000 μm) non sufficienti a pressurizzare S1_A. Pertanto, la tenuta della flangia non avrà particolari requisiti e la scelta del materiale di costruzione sarà soggetta alla criterio del minor costo.
 - Serraggio attraverso
 - 20 tiranti ASTM A193 grado B16 da 2.5 (diametro nominale 57.15 mm)
 - 40 dadi ASTM A194 gr.4
 - Guarnizione HELICOFLEX (o alternativa): lavorazione della parte inferiore flangia deve essere compatibile con le caratteristiche della guarnizione.
 - 11 penetrazioni (da confermare durante la preparazione del progetto di dettaglio)
 - 1 foro da 3” → che dovrà consentire la connessione al serbatoio S3 attraverso una tubazione di 3” (lunghezza circa 2 m) e flangia classe 2500 (in materiale da valutare sulla base del criterio del minor costo). La guarnizione della flangia di connessione tra S1_A e S3, inclusa nella fornitura, sarà di tipo spirometallica.
 - 5 fori $\Phi=1''$ (misura preliminare) → per installare i sensori acustici. I fori saranno disposti: 1 al centro della flangia e gli altri 4 secondo una geometria quadrata di lato 20 cm centrata sull’asse della flangia.
 - 2 fori $\Phi=3/4''$ (misura preliminare) → per installare 2 misuratori di livello
 - 1 foro $\Phi=1/2''$ (misura preliminare) → Trasduttore di pressione assoluta GE UNIX5000
 - 3 fori $\Phi=1''$ (misura preliminare) → per installare strumentazione aggiuntiva da definire.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 34	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- 4 asole sulla superficie laterale per la movimentazione della flangia (come per l'attuale componente)
- Progetto di dettaglio e fabbricazione dei *Dett. 2 e 3* in Fig. 5.10 relativi ai sistemi linea di iniezione, caricamento e refrigerazione. Il sistema si baserà su un concetto simile a quello del sistema di caricamento piombo e iniezione dell'attuale configurazione LIFU5/Mod2 (vedi Fig. 5.14), con l'aggiunta di due ulteriori tubi coassiali (o almeno un tubo) per la refrigerazione del tubo di iniezione (Fig. 5.15). In particolare i tubi (compresi nella fornitura) saranno:
 - Tubo iniezione acqua interno 1/8" sch. 80 (Dext=3.175 mm) – (stima preliminare basata su sistema metrico o dimensioni equivalenti)
 - Tubo interno refrigerazione 3/8" (Dext=9.53x 0.89 mm) – (stima preliminare basata su sistema metrico o dimensioni equivalenti)
 - Tubo esterno refrigerazione 5/8" (Dext=15.875 mm) o 3/4" (Dext=19.050 mm) di spessore da definire – (stima preliminare basata su sistema metrico o dimensioni equivalenti).
 - Tubo esterno 2" sch. 80 (come tubo integrato sul fondo di S1).
- Progetto di dettaglio, fabbricazione ed installazione del sistema iniezione acqua (da S2 a S1_A, con esclusione del dispositivo di iniezione *Dett. 1*) inclusa la predisposizione per l'alloggiamento della strumentazione come da Fig. 5.10.
- Progetto di dettaglio e fabbricazione della modifica del sistema di supporto dell'impianto (Fig. 5.16), necessario per innalzare il serbatoio d'acqua S2 ed il misuratore di livello (LGH) di circa 1 m e per consentire al personale ENEA le necessarie operazioni di utilizzazione e manutenzione.
- le valvole e il regolatore di pressione;
- l'installazione della strumentazione;

Si riportano inoltre:

- I principali dati delle tubazioni in Tab. 5.22.
- La lista della strumentazione da installare in Tab. 5.23.
- La lista delle valvole e regolatori di pressione inclusi nella fornitura in Tab. 5.25.

<i>Pipeline List</i>						
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Line Size</i>	<i>Schedule</i>	<i>Design Pressure</i>	<i>Design Temperature</i>	<i>Quantity</i>
S1A-01	S1A fill and drain pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S1A-02	Injection line	1/8"	sch80	200 bar	500°C	1
S1A-03	Connection with S3	3"	sch80	10 bar	500°C	1
S1A-04	Connection with S3	3"	sch80	200 bar	500°C	1
S2L-01	Injection line	1/2"	sch80	200 bar	350°C	1
S2L-02	Injection line	1/4"	sch80	200 bar	350°C	1
S2L-03	Injection line	1/8"	sch80	200 bar	350°C	1
S2L-04	Injection line	1/4"	sch80	200 bar	500°C	1
S2L-05	Injection line	1/4"	sch80	200 bar	350°C	1
S2L-06	Injection line	1/4"	sch80	200 bar	350°C	1
S4A-L02	S4A fill and drain pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S4B-L02	S4_B1 drain pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1
S4B-L07	S4_B2 fill pipe	1"	sch80	200 bar	500°C	1

Tab. 5.22 – Principali dati tubazioni sistema S1_A e S2

<i>Instrument List</i>		
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Service</i>
DP-S1A-01	Differential pressure [Liquid metal; 0-1500 mbar; 0-500°C]	
DP-S2V-01	Differential pressure [Water; 0-150 mbar; 0-300°C]	
DP-S2V-02	Differential pressure [Water; 0-250 mbar; 0-300°C]	
LV-S1A-01	ON/OFF level transducer [High Lvl; 0÷500°C]	
LV-S1A-02	ON/OFF level transducer [High High Lvl; 0÷500°C]	
MT-S1A-01	Flowmeter [5E-7 to 2E-4 Kg/s; 0-20bar; -10-200°C]	
PC-S1A-01	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	
PC-S2L-02	Absolute Pressure Sensor [0-20 bar; 4-20mA]	
PC-S2V-01	Absolute Pressure Sensor [0-20 bar; 4-20mA]	
TC-S2L-03	Thermocouple [N type, 0.5mm]	
TC-S2L-04	Thermocouple [N type, 0.5mm]	
TC-S2L-05	Thermocouple [N type, 0.5mm]	

Tab. 5.23 – Lista strumentazione nel sistema S1_A e S2
(*installazione inclusa nella fornitura*)

<i>Instrument List</i>		
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Service</i>
Acoustic detection System	System based on 5 microphones D=10mm	
Environment	System based on 5 microphones D=10mm	
PC-AUX-01	Absolute Pressure Sensor [0-10 bar; 4-20mA]	
PC-AUX-02	Absolute Pressure Sensor [0-1 bar; 4-20mA]	
SG-S1A-02	Strain gauge	
SG-S1V-01	Strain gauge	
SG-S1V-03	Strain gauge	
SG-S1V-04	Strain gauge	
SG-S1V-05	Strain gauge	
TC-S1A-01	Thermocouple [N type, 1mm]	
TC-S1A-02	Thermocouple [N type, 1mm]	
TC-S2V-01	Thermocouple [N type, 0.5mm]	
TC-S2V-02	Thermocouple [N type, 1mm]	
TR-S1A-1A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-1B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1A-2A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-2B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1A-3A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-3B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1A-4A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-4B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1A-6A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-6B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S1A-7A	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation A
TR-S1A-7B	Thermocouple [N type, 3mm]	Regulation B
TR-S2L-3A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2L-3B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2L-4A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2L-4B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2L-5A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2L-5B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2L-6A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2L-6B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2V-1A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2V-1B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2V-1C	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation C
TR-S2V-2A	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation A
TR-S2V-2B	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation B
TR-S2V-2C	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation C
TR-S2V-2D	Thermocouple [N type, 1mm]	Regulation D
TS-S1A-1A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-1B	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-2A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-3A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-4A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-6A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety
TS-S1A-7A	Thermocouple [N type, 3mm]	Safety

TS-S2L-3A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2L-4A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2L-5A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2L-6A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2V-1A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2V-1B	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2V-2A	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
TS-S2V-2B	Thermocouple [N type, 1mm]	Safety
UDV	??? D=14mm; available for Ultrasonic application	
	??? D=14mm; available for Ultrasonic application	
	??? D=14mm; available for Ultrasonic application	
	??? D=14mm; available for Ultrasonic application	

*Tab. 5.24 – Lista strumentazione nel sistema S1_A e S2
(installazione NON inclusa nella fornitura)*

Valve List					
<i>Displayed Text</i>	<i>Description</i>	<i>Line Size</i>	<i>Valve Class</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>
VE-S2V-01	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-04	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-05	Electro-valve [Ar gas/Water; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VP-S2L-07	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			
VP-S2L-08	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			
VP-S2L-09	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-350°C]	1/2"			

*Tab. 5.25 – Lista valvole e regolatori di pressione sistema S1_A e S2
(inclusi nella fornitura)*

Valve List					
Displayed Text	Description	Line Size	Valve Class	Manufacturer	Model
VE-S2V-02	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-03	Electro-valve [Ar gas; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VE-S2V-06	Electro-valve [Water; 0-200 bar; 0-50°C; Ref. pressure 16bar]	1/4"			
VP-S2L-10	Pneumatic Valve [0-200 bar; 0-500°C]	1/2"			
VE-S2L-11	Electro-Valve	1/2"			
VS-S2V-01	Automatic Relief Valve				

Tab. 5.26 – Lista valvole e regolatori di pressione sistema S1_A e S2
(NON inclusi nella fornitura)

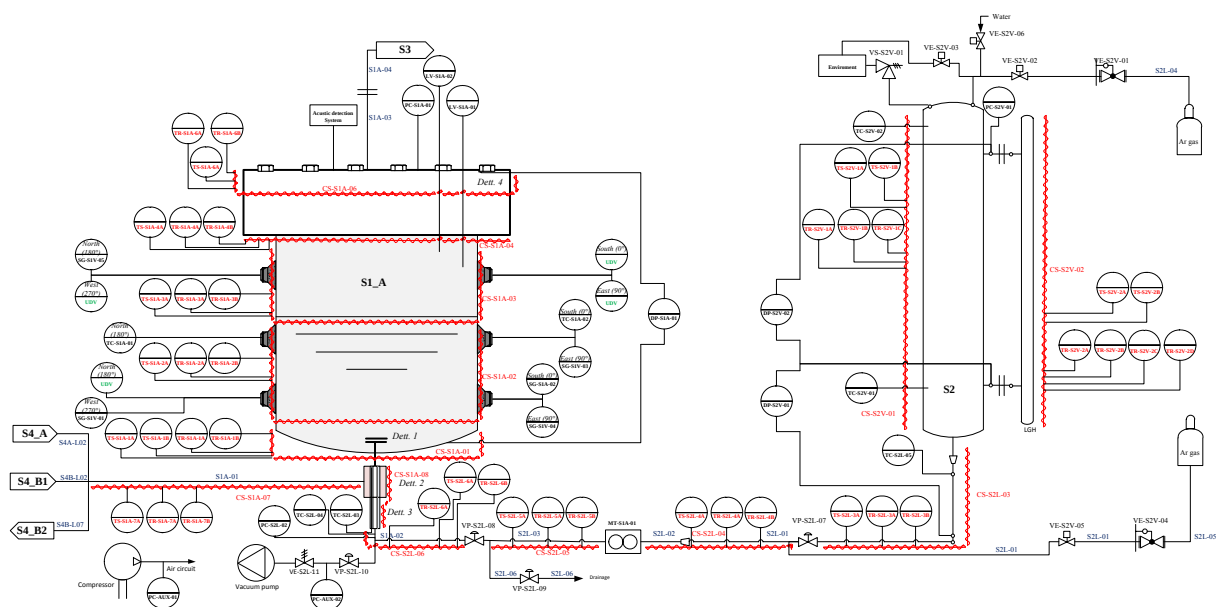


Fig. 5.10 – P&I preliminare sistema S1_A ed S2 dell'impianto LIFUS5/Mod3.

Fig. 5.11 – Disegni “originali” del serbatoio di prova S1 (parte 1 di 2).

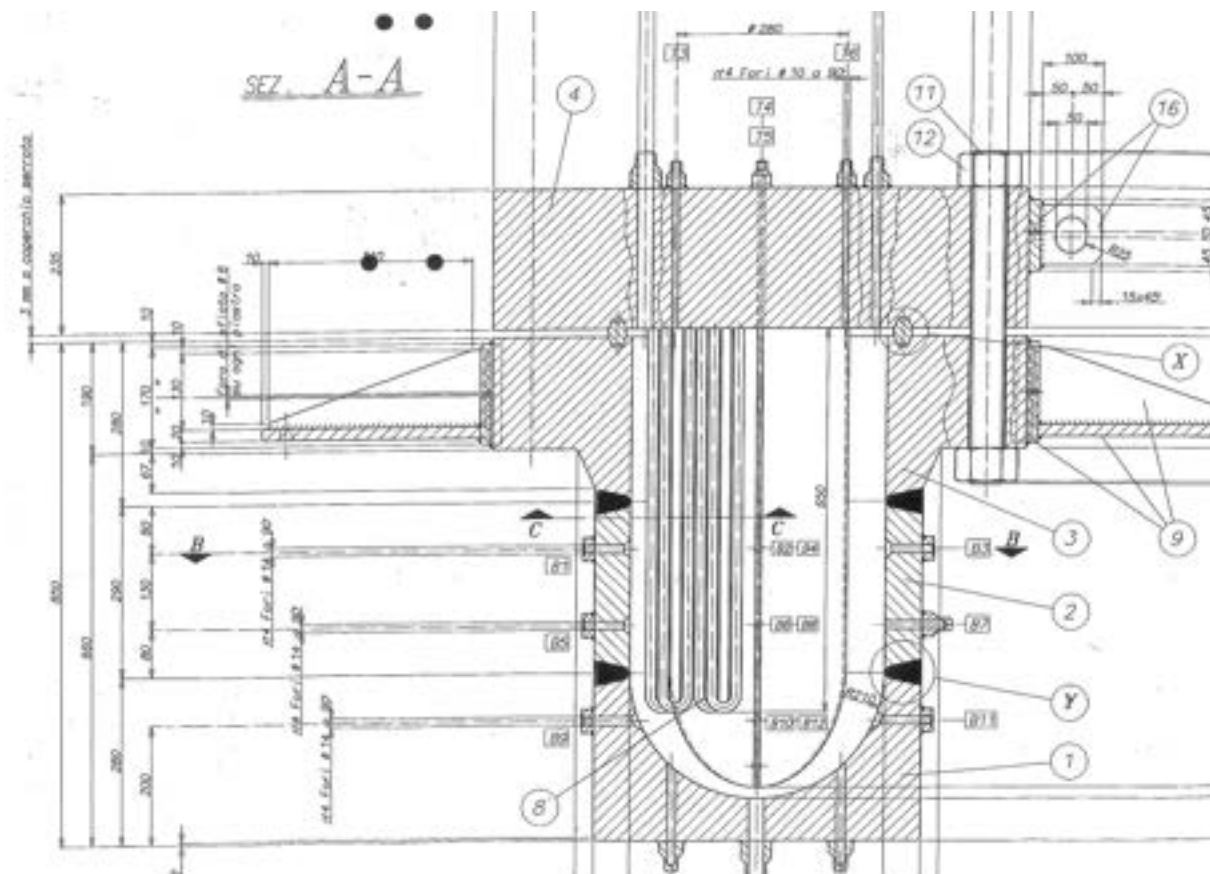


Fig. 5.12 – Disegni “originali” del serbatoio di prova S1 (parte 2 di 2).

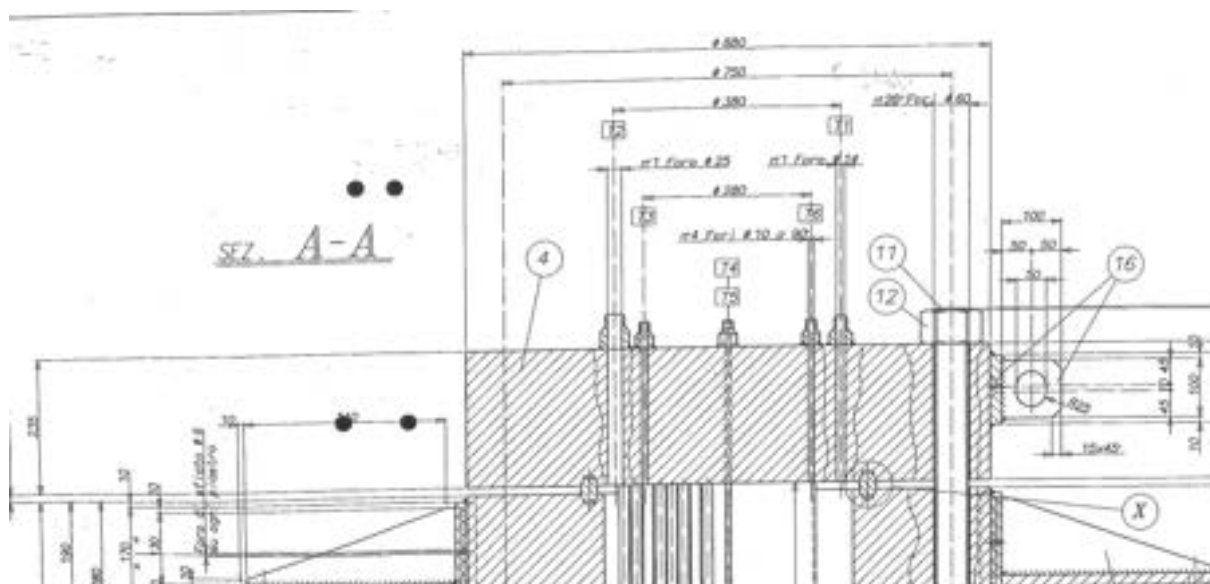


Fig. 5.13 – Disegni “originali” della flangia superiore del serbatoio di prova S1.

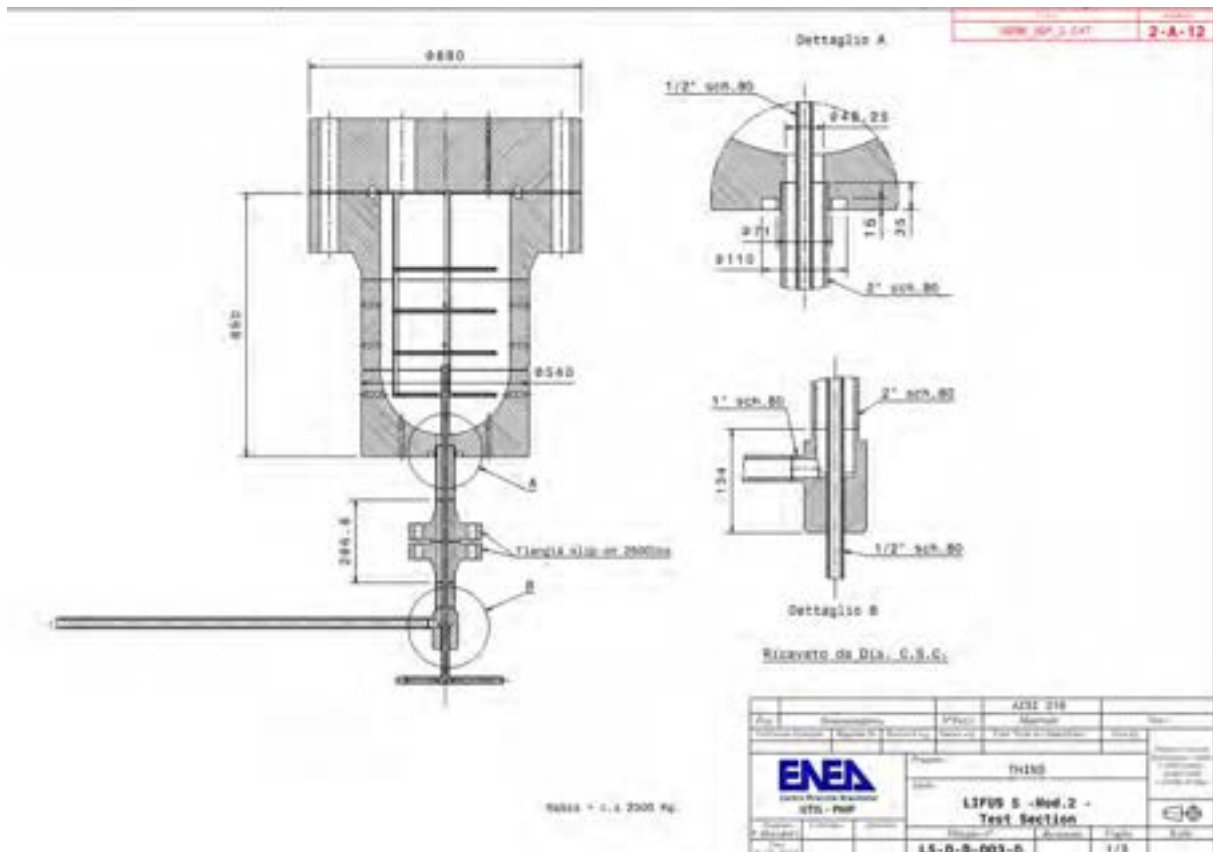


Fig. 5.14 – Assieme serbatoio S1 e particolari del sistema caricamento e iniezione dell'attuale configurazione LIFUS5/Mod2.

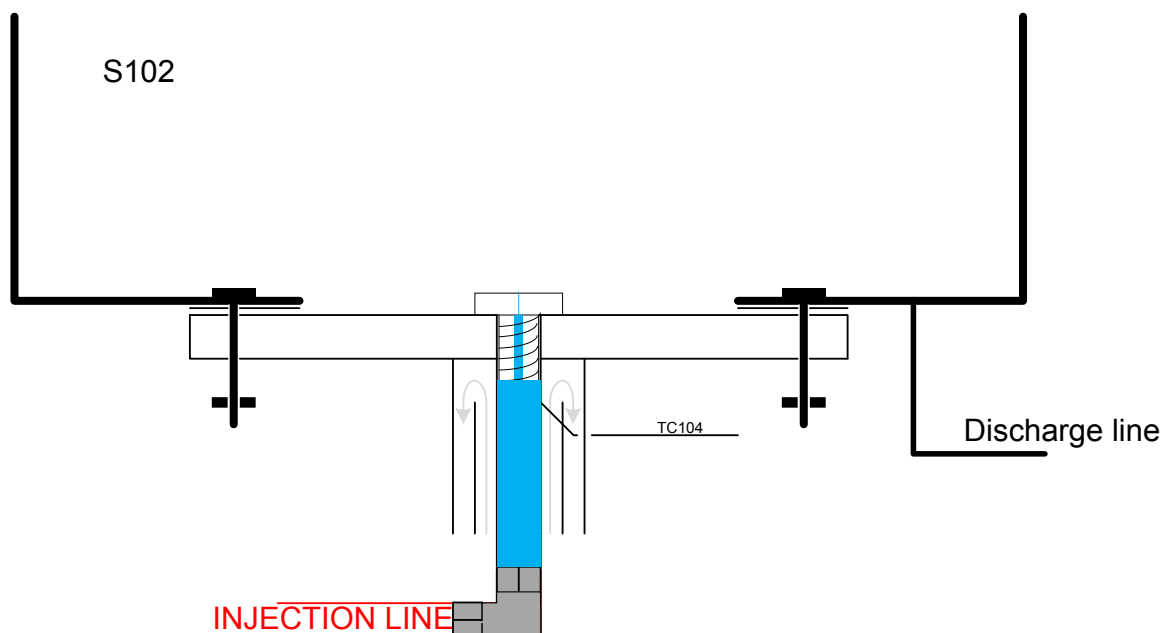


Fig. 5.15 – Principio di funzionamento del sistema iniezione e refrigerazione.

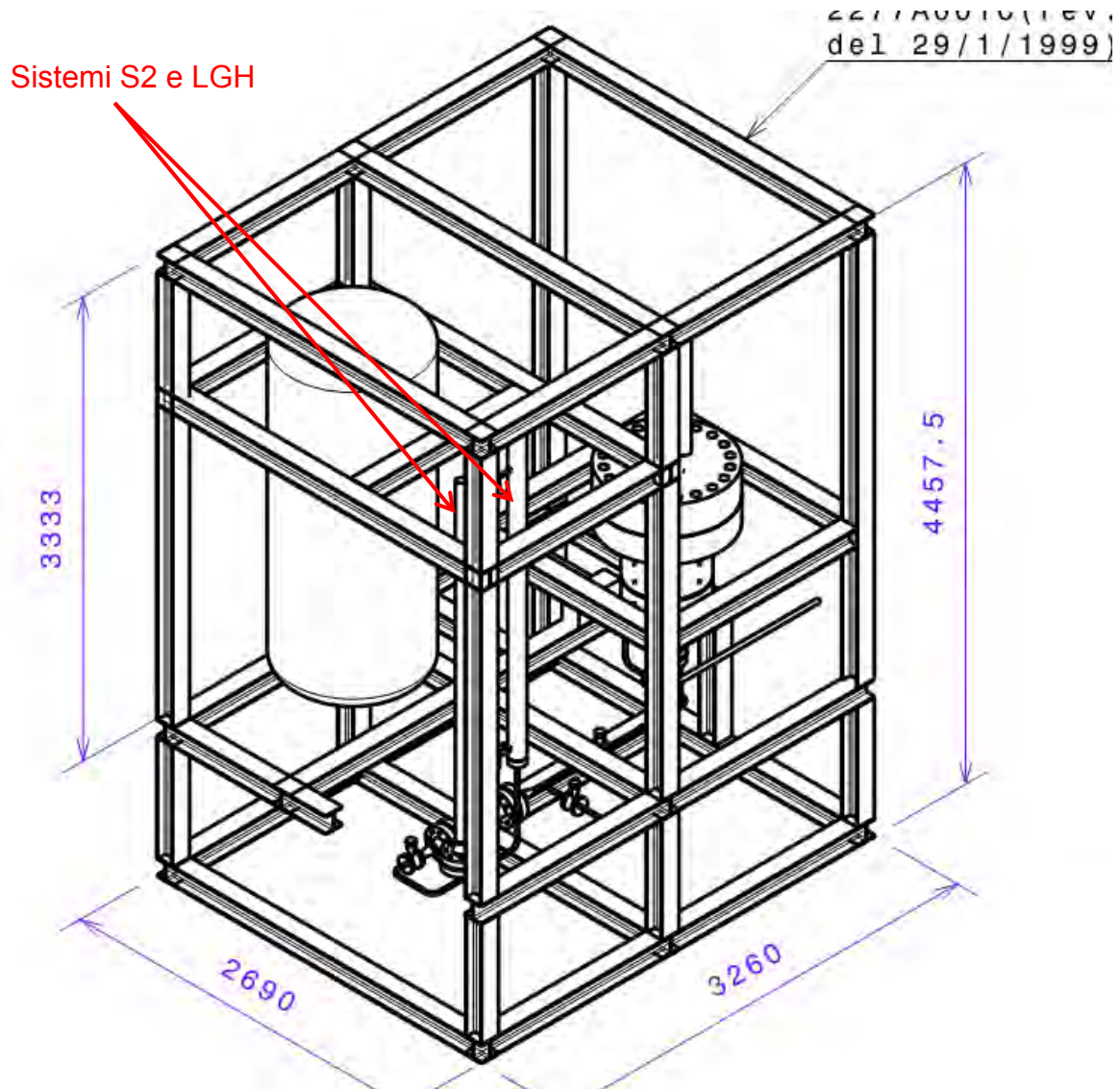


Fig. 5.16 – Struttura di supporto impianto LIFUS5.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 43	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

6 Requisiti della fornitura

La fornitura dovrà essere in accordo alle prescrizioni elencate nei successivi paragrafi.

6.1 Fabbricazione

Il Fornitore si dovrà responsabilizzare sulle scelte effettuate dal Cliente nel progetto concettuale proposto. Tuttavia potrà proporre soluzioni diverse qualora ne semplifichino la fabbricazione.

Sulla base delle specifiche del Cliente, il Fornitore dovrà produrre i disegni di dettaglio ritenuti necessari per definire le dimensioni e le tolleranze finalizzate alla realizzazione dei componenti di impianto in officina.

Nell'assemblare i componenti di impianto dovrà essere prestata particolare attenzione al rispetto delle tolleranze dimensionali stabilite dalla norma UNI EN ISO 13920 scegliendo per ogni tipologia la classe di tolleranza migliore.

6.2 Materiali

Le parti di impianto, supporti e altri componenti oggetto della fornitura dovranno essere realizzati in acciaio austenitico tipo AISI 316, a meno che non venga specificatamente indicato un materiale diverso dal Cliente.

L'approvvigionamento e la ricezione dei materiali dovranno essere condotti conformemente alle norme ASTM, UNI e DIN, accompagnati da certificati di origine, comprovanti le caratteristiche chimico-fisiche e i trattamenti subiti relativi al lotto di materiale della fornitura.

Per le parti per le quali non sia applicabile alcuna delle norme indicate, il Fornitore dovrà procedere secondo il proprio standard aziendale, previa autorizzazione del Cliente.

Le guarnizioni di tenuta della flange di collegamento della linea di tubazione che collega S1 a S3 sarà del tipo spirometallico.

6.3 Strumentazione

La strumentazione della sezione di prova è riportata in sezione 5. La strumentazione fornita da ENEA e installata nella fornitura si limita ai serbatoi S4_A; S4_B1; S4_B2, S1_B e linea iniezione. Il Fornitore dovrà responsabilizzarsi, previo accordo con ENEA, nella scelta del tipo di collegamento, e quant'altro necessario per la identificazione e installazione.

6.4 Saldature

Il riferimento normativo per quanto riguarda i giunti saldati è la Direttiva 97/23/CE (PED). Per le saldature dovrà essere prodotto un documento che riporti per ogni giunzione:

- procedimento usato,

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 44	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- qualifica saldatura,
- tipo di elettrodo e omologazione,
- qualifica del saldatore,
- controlli non distruttivi previsti.

6.5 Prova in pressione

Il Cliente richiede che venga eseguita una prova in pressione, secondo direttiva 97/23/CE (PED). Questa consisterà in una prova in pressione (idraulica) per collaudo e accettazione del sistema S1_B; S4_A ed S4_B1.

6.6 Pulizia

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla pulizia dei manufatti, sia in fase di fabbricazione che durante il trasporto. Dovrà essere garantito un alto livello di pulizia necessario ad evitare che residui di lavorazioni meccaniche, scorie di saldatura, polvere ecc. possano depositarsi all'interno dei componenti di impianto.

Tutti i componenti di impianto dovranno essere sgrassati e decapati presso le officine del Fornitore.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 45	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

7 Estensione della fornitura

La fornitura comprende la bulloneria di collegamento, le flange, la guarnizioni di tenuta, oltreché le valvole, i raccordi ed i riduttori di pressione come descritto.

La fornitura include, il dossier di fine fabbricazione (in formato cartaceo ed elettronico), dove sono raccolti tutti i documenti riguardanti:

- l'approvvigionamento dei materiali e i relativi certificati;
- i disegni di officina necessari per la fabbricazione dei componenti;
- la descrizione delle saldature e i controlli effettuati,
- le prove di tenuta realizzate e la relativa procedura adottata;
- le note di calcolo prodotte per i vari dimensionamenti effettuati;
- i controlli dimensionali effettuati;
- le certificazioni richieste secondo la direttiva 97/23/CE (PED).

7.1 Controlli dimensionali e verifiche in officina

Il Cliente si riserva, in accordo con il Fornitore, di eseguire visite presso l'officina dello stesso durante la fabbricazione al fine di controllarne l'andamento, mediante l'esecuzione di controlli dimensionali e ispezioni visive per verificare la congruità dei componenti con quanto indicato nei disegni concettuali forniti.

7.2 Imballo e trasporto

Gli imballi dovranno essere idonei a garantire la conservazione della pulizia, la protezione delle parti e l'integrità strutturale della fornitura, durante il trasporto fino al sito ENEA del Brasimone.

7.3 Installazione ed assistenza in sito

Il Fornitore dovrà garantire la necessaria assistenza tecnica in sito, al fine di provvedere, coadiuvato dal personale tecnico ENEA, alla corretta installazione dell'impianto, delle tubazioni di connessione, e della relativa strumentazione. Per le procedure di assemblaggio e aggiustaggio in sito, che saranno a completo onere del Fornitore, l'ENEA mette a disposizione l'utilizzo di un carro ponte con portata di 8 ton.

7.4 Accettazione e garanzia

L'accettazione della fornitura avverrà presso il Centro ENEA del Brasimone a seguito della verifica dell'integrità dei componenti, del buon stato di conservazione dopo l'effettuazione del trasporto e dell'installazione sull'impianto. In caso di esito negativo dell'accettazione, sarà a completo carico del Fornitore apportare tutte le modifiche necessarie per soddisfare i requisiti di prestazioni e funzionalità riportate in Specifica Tecnica.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 102	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 46	di 54
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

La garanzia avrà la durata di 24 mesi e inizierà dalla data di accettazione della fornitura.

8 Durata della fornitura, penali, pagamenti

La presente fornitura dovrà essere ultimata entro 6 mesi dalla relazione di inizio lavori. Per ogni giorno solare di ritardo nella consegna della fornitura sarà applicata la penale dello 0,3% (tre per mille) dell'importo totale. L'importo globale della penale applicabile non potrà superare, comunque, il 10% dell'importo totale della fornitura.

Qualora l'ammontare complessivo della penale ecceda il 10% del valore del contratto, il responsabile ENEA può risolvere il contratto e provvedere all'esecuzione in danno.

I pagamenti saranno effettuati per il 30% del costo complessivo a completamento della progettazione serbatoi (S4_A, S4_B1, S4_B2, S1_B) e ricevimento dei disegni costruttivi, per il 40% alla consegna dei serbatoi (S4_A, S4_B1, S4_B2, S1_B) e della flangia di S1_A compresa la modifica della carpenteria e della linea di iniezione tra S1_A e S2, e per il restante 30% ad esito positivo del collaudo finale.

I pagamenti saranno effettuati ad esito positivo del DURC (documento unico di regolarità contributiva), previo benestare del Responsabile del Procedimento, entro trenta giorni dalla data di ricevimento delle fatture emesse.

APPENDIX A - ANALYSIS IN SUPPORT OF EXPERIMENT DESIGN

In support of the experimental campaign, an extensively code activity was performed by means of two numerical tools: RELAP5/Mod3.3 and SIMMER-III codes. In particular, RELAP5/Mod3.3 [1] calculations were performed to fulfill multifold purposes:

- Supporting the design of the injection line,
- Testing the fill and drain procedure,
- Investigating the behavior of the injection line during the experiments,
- Providing boundary and initial condition to SIMMER-III calculations.

The analyses were performed through a set of sensitivity analyses aimed at characterizing the form loss coefficients of valves and of the flow meter. Moreover, different analyses were performed in order to characterize the gas injection and the water injection behavior during the experiment.

A.1 Test Matrix

LIFUS5/Mod3b boundary conditions^[1] chosen to perform pre-test analysis are shown in Tab. A. 1. It is important to highlight that all tests conditions are based on MYRRHA PHX design parameters (see Tab. A. 2).

#	Parameter	Value
1	Reaction system	S102
2	LBE temp. [°C]	350
3	Water pressure [bar]	16
4	Water temp. [°C]	200

Tab. A. 1 – LIFUS5/Mod2b facility boundary conditions

Parameter	Unit	Value
PHX LBE inlet temperature	°C	350
PHX LBE outlet temperature	°C	270
PHX water pressure	bar	16
PHX water inlet temperature	°C	200
PHX water outlet temperature	°C	201.4

Tab. A. 2 – MYRRHA PHX work conditions

A first set of injector orifices with a cylindrical shape are provided for pre-test analysis (see Tab. A. 3). If the results obtained are consistent, the same series of injection orifices will be used to perform the first series of tests.

Parameter	T#1	T#2	T#3	T#4	T#5	T#6	T#7	T#8	T#9	T#10	T#11
Orifice diameter [mm]	0.002	0.004	0.006	0.008	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.4	1.0

Tab. A. 3 – Injector orifices pre-test diameter

A.2 RELAP5/Mod3.3 nodalization

RELAP5/Mod3.3 is based on one-dimensional, non-homogeneous and non-equilibrium hydrodynamic model for the steam and liquid phases. The nodalization developed to simulate the LIFUS5/Mod3b injection line is shown in Fig. A. 1 and is composed by:

- 82 sub-volumes representing the hydraulic volumes of the pipelines,
- 3 single junctions that join the components,
- 2 motor valves simulating the pneumatic and elctro-valves;
- 2 time dependent volumes aimed at imposing the boundary conditions of the test,
- 1 time dependent volume to keep the pressure in the interaction vessel constant.

Boundary conditions were set by imposing pressure trends in the argon line connected with S2 (TMDPVOL-100 in Fig. A. 1) and in the line directly connected to the injection line (TMDPVOL-200 in Fig. A. 1).

Two types of simulations were performed:

1. Injection of liquid water from the water tank to evaluate the mass flow rate discharged in the reaction vessel and therefore to evaluate the adequacy of the water tank and the expected measurement signals, i.e. to choose measurement gauges having proper range of applicability. These simulations were executed changing the diameter of the orifices and running the code for 3 hours or up to the water tank is discharged. Pressure in the water tank is kept at 18 bar and the water temperature is constant as well.
2. Injection of argon form the gas tank to investigate the possibility that the LBE in the reaction vessel will enter in the injection line. These simulations were executed changing the diameter of the orifices and running the code with a pressure ranging from 100 bar up to 20.

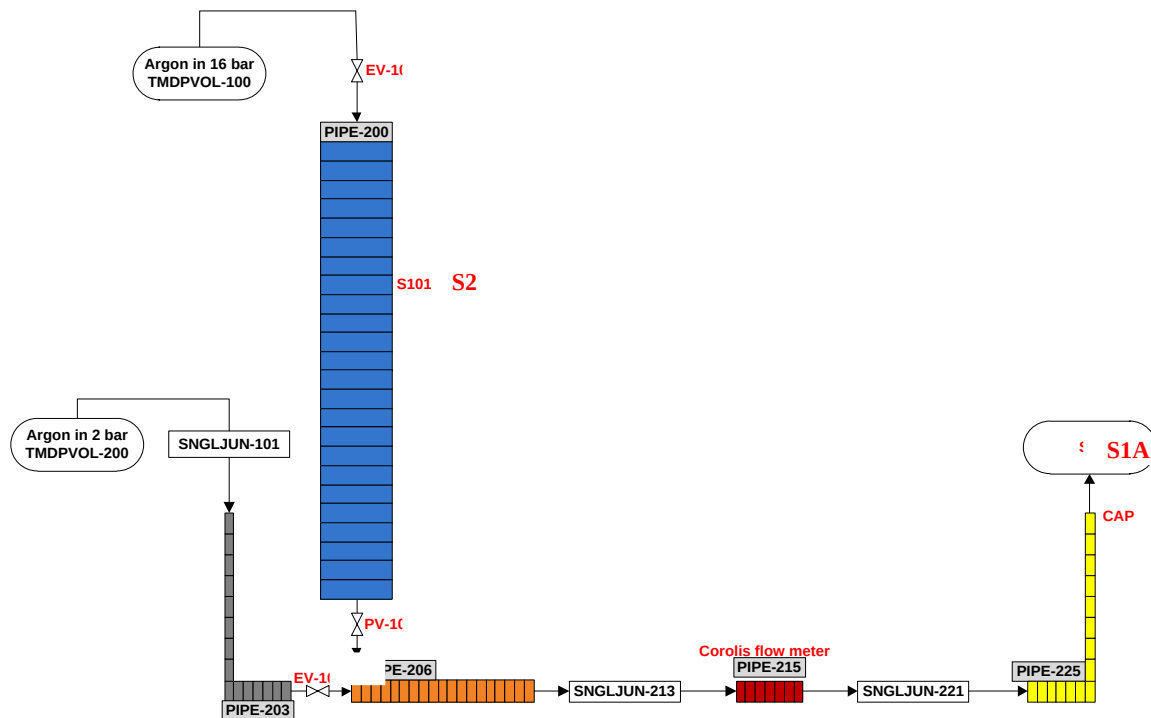


Fig. A. 1 – RELAP5/Mod3.3 nodalization of the injection line

A.3 Results

The experiment is divided into two different phases: the conditioning phase and the water injection. During the former, the injection line is slightly pressurized to avoid the possibility that LBE drops inside the line itself, injecting gas continuously. Hereafter, the

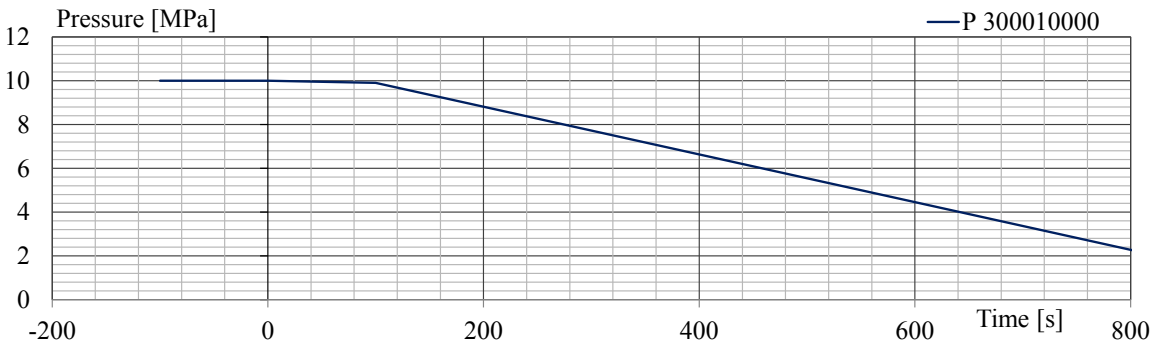


Fig. A. 2 – Pressure time trend as boundary condition

The non-condensable gas fraction was calculated in the junction 235 (from nine 225 to S2) on y. id as 1 ss at nt

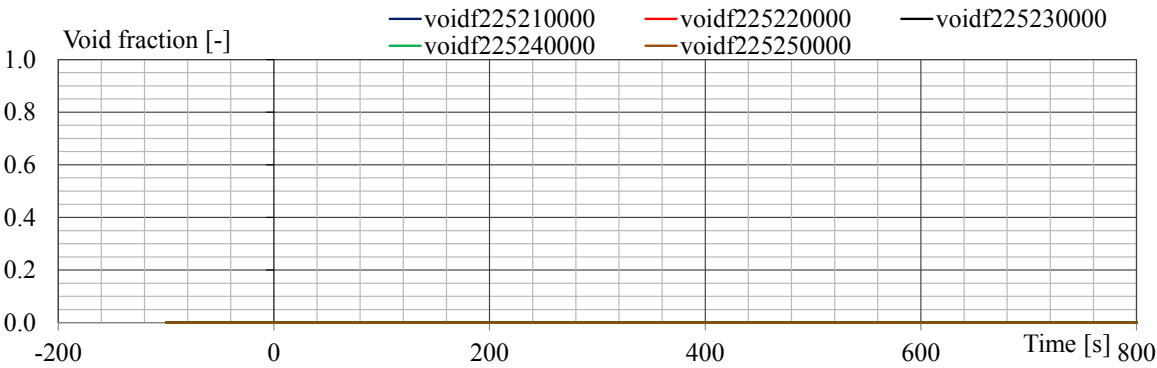
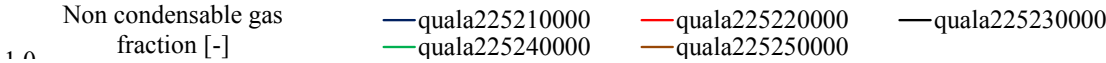
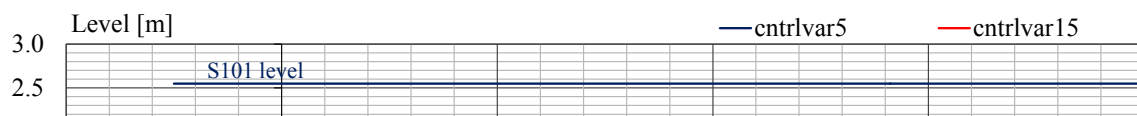


Fig. A. 5 – Void fraction in PIPE-225



g.

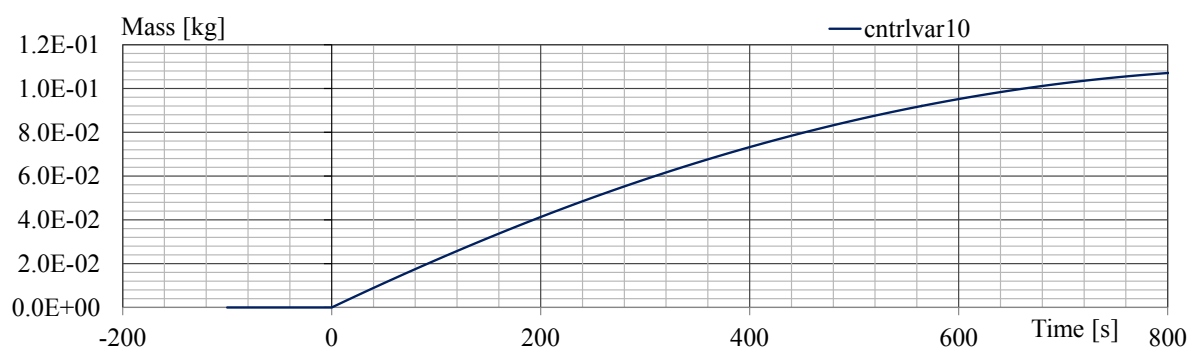


Fig. A. 8 – Mass of gas injected in S1A

In all the tests simulated by RELAP5/Mod3.3, the results are confirmed. The code do not predict the fall of LBE into the injection line during the conditioning phase for the orifice diameters considered in the experimental campaign, if a pressure upstream the line is maintained between 10 and 2 MPa.

A.3.1 Water injection

Injection of liquid water from the water tank was simulated to evaluate the mass flow rate discharged in the reaction vessel and therefore to evaluate the adequacy of the water tank and the expected measurement signals, i.e. to choose measurement gauges having proper range of applicability.

These simulations were executed covering a wide range of micro/small leaks (i.e. orifice diameters from 0.002 mm up to 1 mm) and running the code for 3 hours or up to the water tank is discharged. Pressure in the water tank is kept at 18 bar and the water temperature is constant as well.

Two set of equivalent calculations were performed, changing the form loss option, to verify the consistency of results. The results are reported in Tab. A. 4 and in Tab. A. 5.

RUN	D orifice (mm)	A orifice (m)	beta	K eff	MF (kg/s)	Time S101 discharged (lvl<0.1)	Lvl S101 @1h	Lvl S101 @3h	Pressure (MPa)
1	0.002	3.1416E-12	0.00025	1.5	8.28E-08	> 3	2.500	2.500	17.2112
2	0.004	1.2566E-11	0.0005	1.5	3.31E-07	> 3	2.500	2.499	17.2111
3	0.006	2.8274E-11	0.00075	1.5	7.46E-07	> 3	2.499	2.498	17.2110
4	0.008	5.0265E-11	0.001	1.5	1.33E-06	> 3	2.499	2.496	17.2109
5	0.01	7.854E-11	0.00125	1.5	2.07E-06	> 3	2.498	2.494	17.2107
6	0.02	3.1416E-10	0.0025	1.5	8.28E-06	> 3	2.492	2.476	17.2092
7	0.05	1.9635E-09	0.00625	1.5	5.18E-05	> 3	2.451	2.349	17.1987
8	0.1	7.854E-09	0.0125	1.5	2.07E-04	> 3	2.304	1.895	17.1612
9	0.2	3.1416E-08	0.025	1.5	8.23E-04	2h58m20s	1.717	0.081	17.1161
10	0.4	1.2566E-07	0.05	1.5	3.38E-03	46m40s	0.000	0.000	17.5302
11	1	7.854E-07	0.125	1.5	1.32E-02	13m20s	0.000	0.000	11.7888

Tab. A. 4 – RELAP5/Mod3.3 main results

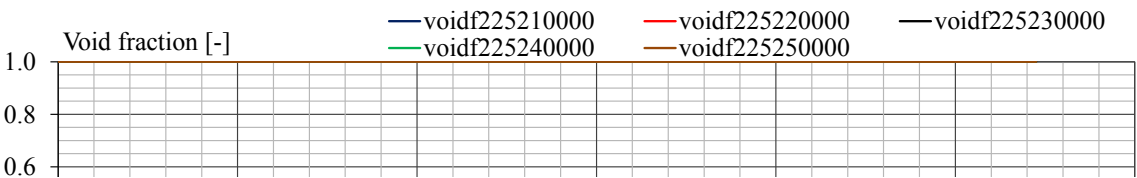
RU N	D orifice (mm)	A orifice (m)	beta	K inp	MF (kg/s)	Time S101 disch. (lvl<0.1)	Lvl S101 @1h	Lvl S101 @3h	Pressure (MPa)
1	0.002	3.1416E-12	0.00025	3.84E+14	7.87E-08	> 3	2.500	2.500	17.2112
2	0.004	1.2566E-11	0.0005	2.40E+13	3.15E-07	> 3	2.500	2.499	17.2111
3	0.006	2.8274E-11	0.00075	4.74E+12	7.08E-07	> 3	2.499	2.498	17.2110
4	0.008	5.0265E-11	0.001	1.50E+12	1.26E-06	> 3	2.499	2.496	17.2109
5	0.01	7.854E-11	0.00125	6.14E+11	1.97E-06	> 3	2.498	2.494	17.2107
6	0.02	3.1416E-10	0.0025	3.84E+10	7.87E-06	> 3	2.492	2.477	17.2093
7	0.05	1.9635E-09	0.00625	9.83E+08	4.92E-05	> 3	2.453	2.356	17.1993
8	0.1	7.854E-09	0.0125	6.14E+07	1.97E-04	> 3	2.314	1.924	17.1637
9	0.2	3.1416E-08	0.025	3.84E+06	7.85E-04	> 3	1.754	0.202	17.0216
10	0.4	1.2566E-07	0.05	2.40E+05	3.11E-03	48m20s	0.000	0.000	17.4595
11	1	7.854E-07	0.125	6144.0	1.32E-02	13m20s	0.000	0.000	15.7046

Tab. A. 5 – RELAP5/Mod3.3 main results

It should be noted that for Test #10 in both calculations, RELAP5/Mod3.3 results highlighted a void fraction in the injection line different from zero. This implies that the pressure in the water injection tank shall be set higher than 18 bar, due to pressure drop during the injection. Moreover, the pressure boundary condition in SIMMER-III calculation for the same test was set equal to Test #9.



1e



.3
is

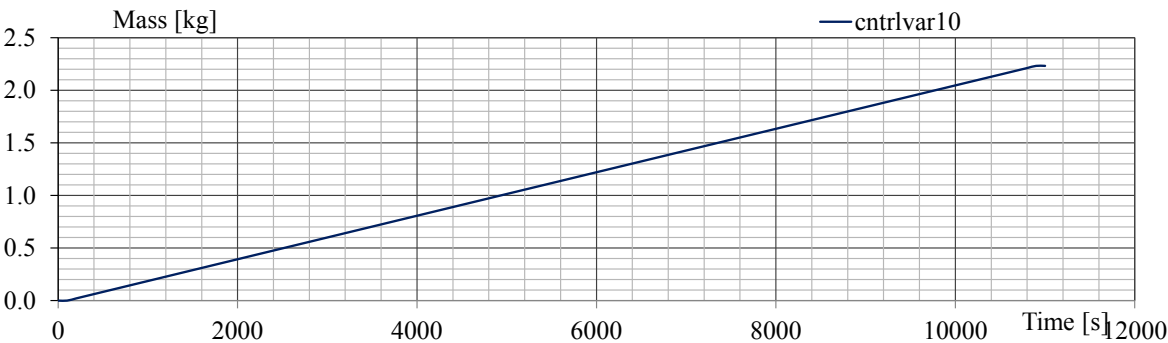


Fig. A. 11 – Mass of water injected in S102

Finally, the level in the S1B water tank is illustrated in Fig. A. 12. Starting from a level equal to 2.5 m, the level diminishes up to 2.304 m after 1 hour of transient, and up to 1.895 m after 3 hours of transient.

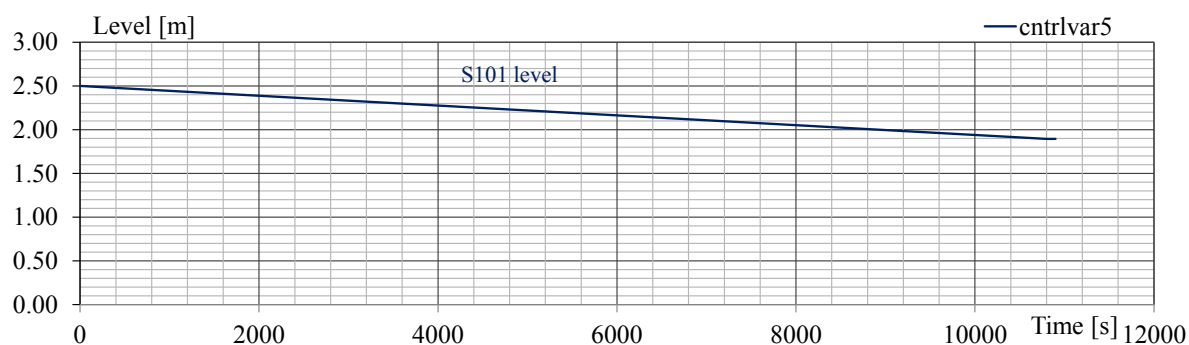


Fig. A. 12 – *Level in S101 (water tank)*

A.4 Summary

- During the conditioning phase, and therefore the gas injection, the LBE never drops into the injection line, excluding the possibility of a plug in the orifice of the injector., as well as during the water injection.
- The level in S101 decreases very slowly, in most of the analyzed cases the time of discharge for a level decrease of 0.1 m is up to 3 hours.
- The water injection pre-test analyses provide boundary and initial conditions for SIMMER-III simulations, in particular the pressure upstream the orifice and the water mass flow rate.

A.5 References

- [1] Information Systems Laboratories, Inc. Rockville, Maryland, Idaho Falls, Idaho Nuclear Safety Analysis Division “ RELAP5/MOD3.3 CODE MANUAL VOLUME II:APPENDIX A INPUT REQUIREMENTS ”, June 2004.
- [2] A. Del Nevo et al., “Deliverable D4.4 – SGTR Bubbles Characteristics”, MAXSIMA Project, April 2015.